



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR APARTEMEN
PUNCAK DHARMA HUSADA SURABAYA DENGAN
KOMBINASI *SHEAR WALL* DAN *OUTRIGGER
SYSTEM***

ANGGA BAYU CHRISTIANTO
NRP. 3115 105 052

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR APARTEMEN
PUNCAK DHARMA HUSADA SURABAYA DENGAN
KOMBINASI *SHEAR WALL* DAN *OUTRIGGER
SYSTEM***

ANGGA BAYU CHRISTIANTO
NRP. 3115 105 052

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**DESIGN OF MODIFICATION OF PUNCAK
DHARMAHUSADA APARTMENT SURABAYA
WITH COMBINATION OF SHEAR WALL AND
OUTRIGGER SYSTEM**

ANGGA BAYU CHRISTIANTO
NRP. 3115 105 052

Supervisor I
Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D.

Supervisor II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**DESIGN OF MODIFICATION OF PUNCAK
DHARMAHUSADA APARTMENT SURABAYA
WITH COMBINATION OF SHEAR WALL AND
OUTRIGGER SYSTEM**

ANGGA BAYU CHRISTIANTO
NRP. 3115 105 052

Supervisor I
Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D.

Supervisor II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR APARTEMEN
PUNCAK DHARMA HUSADA SURABAYA DENGAN
KOMBINASI *SHEAR WALL* DAN *OUTRIGGER SYSTEM***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANGGA BAYU CHRISTIANTO

NRP. 3115 105 052

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph. D.

(.....)

2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

(.....)

SURABAYA

JULI, 2017

DESAIN MODIFIKASI APARTEMEN PUNCAK DHARMA HUSADA SURABAYA DENGAN KOMBINASI *SHEAR WALL* DAN *OUTRIGGER SYSTEM*

Nama Mahasiswa : Angga Bayu Christianto
NRP : 3115105052
Jurusan : Lintas Jalur S-1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Abstrak

Perkembangan pesat dan industrialisasi besar di kota metropolitan menyebabkan naiknya angka urbanisasi ke kota tersebut. Dengan minimnya lahan diperkotaan, perlu dikembangkan bangunan vertikal. Pengembangan ini rentan terhadap beban lateral seperti angin dan gempa. Dengan demikian, para insinyur harus solutif dalam memilih sistem mana yang digunakan untuk merancang bangunan.

Pemilihan sistem harus mempertimbangkan aspek kekuatan dan efisiensi sistem struktur karena bangunan yang kuat menahan gaya gempa memerlukan biaya konstruksi yang sangat mahal. Apartemen Puncak Dharma Husada berkapasitas 40 lantai menggunakan kombinasi shearwall dan outrigger system. Outrigger merupakan elemen struktur terdiri dari balok setinggi satu lantai yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan keseluruhan bangunan sehingga dapat mereduksi dimensi balok dan kolom. Meningkatnya kekakuan juga dapat mengurangi periode dan simpangan bangunan.

Pada tugas akhir ini, elemen outrigger dan belt truss, dimana outrigger dirancang sebagai balok tinggi beton bertulang dan belt truss yang dirancang sebagai struktur rangka yang terbuat dari baja.

Kata Kunci : *Belt Truss, Outrigger, Beton Bertulang, Shear Wall, Struktur Baja.*

DESIGN OF MODIFICATION OF PUNCAK DHARMAHUSADA APARTMENT SURABAYA WITH COMBINATION OF *SHEAR WALL* AND *OUTRIGGER* SYSTEM

Name : Angga Bayu Christianto
NRP : 3115105052
Department : S-1 Civil Engineering - FTSP
Supervisors : 1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Abstract

The rapid development and huge industrialism in metropolitan cities has caused a large number of urbanization to those big cities. With the minimum land in the cities, it requires a vertical directional building development. This development is susceptible with lateral loading, such as wind and earthquake loads. Thus, the engineers have to be solutive on choosing which system used to design the building.

The selection of the system has to consider the strength aspect and efficiency of the structure system since the seismic-resistant high-rise buildings need highly economical construction. The 40-story Puncak Dharma Husada apartment uses the combination of shearwall and outrigger system. The outrigger is a structural members consist of deep beams with the height of a floor to increase the overall stiffness of the buikding so that the remaining beams and columns can be reduced. The additional rigidity can also reduce the natural period and the maximum drift of structure.

In this final project, the outrigger element and belt truss, where the outrigger designed as the high beam of the reinforced concrete and the belt truss designed as the frame structure made of steel.

Keywords : *Belt Truss, Outrigger, Reinforced Concrete, Shear Wall, Steel Structure.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Desain Modifikasi Struktur Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya Dengan Kombinasi *Shear Wall* Dan *Outrigger System*”. Penulis memilih judul tersebut agar bisa merencanakan gedung dengan menggunakan Sistem yang terkesan baru dan direncanakan berdasarkan zona kegempaan dengan nilai percepatan respon spectrum.

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak lepas dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada :

1. Kedua Orang tua dan saudara-saudara tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi saya, yang telah banyak memberikan dukungan moril maupun materiil, serta doanya.
2. Bapak Prof. Taviero, ST.,MT.,Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir.
3. Teman-teman terdekat saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini,

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga apa yang saya sajikan dalam laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis, dan semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--|--------------|
| Cover | |
| Lembar Pengesahan | |
| Abstrak | iii |
| Abstract | v |
| Kata Pengantar | vii |
| Daftar Isi..... | ix |
| Daftar Gambar..... | xv |
| Daftar Tabel..... | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.2.1 Permasalahan Utama | 2 |
| 1.2.2 Detail Permasalahan..... | 2 |
| 1.3. Maksud dan Tujuan..... | 3 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5. Manfaat | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Bangunan Tingkat Tinggi | 5 |
| 2.2 Sistem Struktur | 6 |
| 2.3 Pembebanan | 8 |
| 2.3.1 Beban Mati | 9 |
| 2.3.2 Beban Hidup | 9 |
| 2.3.3 Beban Angin | 10 |
| 2.3.4 Beban Gempa..... | 10 |
| 2.3.5 Kombinasi Pembebanan..... | 25 |
| 2.4 <i>Outrigger system</i> | 25 |
| 2.4.1 Keuntungan menggunakan <i>outrigger system</i> | 28 |
| 2.4.2 Kelemahan menggunakan <i>outrigger system</i> | 29 |
| 2.4.3 Aplikasi | 30 |
| 2.4.4 Belt truss | 30 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODOLOGI..... | 33 |
| 3.1 Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir | 33 |
| 3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir | 33 |
| 3.3 Pengumpulan Data | 35 |
| 3.3.1 Data Umum Bangunan | 35 |
| 3.3.2 Data Modifikasi..... | 35 |
| 3.3.3 Data Bahan | 36 |
| 3.3.4 Data Tanah | 36 |
| 3.4 Studi Literatur | 36 |
| 3.4.1 Peraturan Yang Digunakan | 36 |
| 3.4.2 Literatur Yang Berkaitan..... | 37 |
| 3.5 Pre Eliminary Design | 37 |
| 3.5.1 Dimensi Pelat | 37 |
| 3.5.2 Dimensi Tangga | 37 |
| 3.5.3 Dimensi Balok..... | 38 |
| 3.5.4 Dimensi Kolom | 38 |
| 3.5.5 Dimensi Shear Wall (dinding geser) dan Outtrigger | 38 |
| 3.5.5.1 Shear Wall (dinding geser) | 38 |
| 3.5.5.2 Outtrigger..... | 39 |
| 3.5.6 Dimensi Belt Truss..... | 39 |
| 3.6 Perencanaan Pembebanan | 39 |
| 3.6.1 Beban mati (DL)..... | 39 |
| 3.6.2 Beban hidup (LL)..... | 39 |
| 3.6.3 Beban angin (WL) | 39 |
| 3.6.4 Beban gempa (EQ)..... | 40 |
| 3.6.5 Kombinasi pembebanan | 40 |
| 3.7 Pemodelan Struktur Outtrigger dan Belt Truss | 40 |
| 3.8 Analisa Struktur..... | 41 |
| 3.9 Analisa Gaya Dalam..... | 41 |
| 3.10 Pendesainan Elemen Struktur..... | 42 |
| 3.10.1 Struktur Pelat Lantai dan Tangga..... | 42 |
| 3.10.2 Struktur Balok | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 3.10.3 Struktur Kolom | 42 |
| 3.10.4 Struktur Shear Wall (dinding geser) dan Outrigger (balok tinggi)..... | 42 |
| 3.10.5 Struktur Belt Truss | 43 |
| 3.11 Perencanaan Sambungan..... | 43 |
| 3.12 Kontrol Rangka dan Sambungan..... | 43 |
| 3.13 Gambar Perencanaan..... | 44 |
| BAB IV PRELIMINARY DESIGN..... | 45 |
| 4.1 Data Perencanaan | 45 |
| 4.2 <i>Preliminary design</i> Balok | 45 |
| 4.2.1 Dimensi Balok Induk | 46 |
| 4.2.2 Dimensi Balok Anak | 47 |
| 4.3 <i>Preliminary design</i> Pelat Lantai | 49 |
| 4.4 <i>Preliminary design</i> Kolom | 55 |
| 4.5 <i>Preliminary design</i> Dinding Geser..... | 60 |
| 4.6 <i>Preliminary design</i> Outrigger | 61 |
| BAB V STRUKTUR SEKUNDER | 63 |
| 5.1. Perencanaan Pelat..... | 63 |
| 5.1.1 Data Perencanaan Pelat | 63 |
| 5.1.2 Pembebanan Pelat | 63 |
| 5.1.2.1 Pelat Atap | 63 |
| 5.1.2.2 Pelat Lantai..... | 64 |
| 5.1.3 Penulangan Pelat | 65 |
| 5.1.4 Resume Penulangan Pelat | 92 |
| 5.2. Perencanaan Struktur Tangga..... | 94 |
| 5.2.1 Data Perencanaan Tangga | 94 |
| 5.2.2 Pembebanan Tangga dan Bordes | 96 |
| 5.2.2.1 Pembebanan Tangga..... | 96 |
| 5.2.2.2 Pembebanan Bordes | 96 |
| 5.2.3 Perhitungan Gaya Dalam | 97 |
| 5.2.4 Penulangan Struktur Tangga | 100 |
| 5.2.4.1 Penulangan Pelat Tangga | 100 |
| 5.2.4.2 Penulangan Pelat Bordes | 108 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 5.3. | Perencanaan Konsol Tangga | 122 |
| 5.3.1 | Data Perencanaan Konsol..... | 123 |
| 5.3.2 | Penulangan Konsol..... | 123 |
| 5.4. | Perencanaan Balok Anak..... | 126 |
| 5.4.1 | Data Perencanaan Balok Anak | 127 |
| 5.4.2 | Pembebanan Balok Anak | 127 |
| 5.4.3 | Penulangan Balok Anak | 129 |
| 5.5. | Perencanaan Balok Lift | 143 |
| 5.5.1 | Data Perencanaan Balok Lift..... | 145 |
| 5.5.2 | Pembebanan Balok Lift..... | 145 |
| 5.5.3 | Penulangan Balok Lift..... | 147 |

BAB VI PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR ...159

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.1 | Pemodelan Struktur | 159 |
| 6.2 | Pembebanan | 160 |
| 5.4.1 | Beban Mati | 160 |
| 5.4.2 | Beban Hidup..... | 161 |
| 5.4.3 | Beban Angin..... | 161 |
| 5.4.4 | Beban Gempa | 161 |
| 6.3 | Analisa Struktur..... | 166 |
| 6.3.1 | Berat sendiri bangunan..... | 166 |
| 6.3.2 | Jumlah Respon Ragam | 169 |
| 6.3.3 | Periode Struktur dan Skala Gaya Gempa | 170 |
| 6.3.4 | Simpangan Bangunan (Drift) | 173 |
| 6.3.5 | Distribusi Vertikal dan Horizontal Gaya Gempa . | 190 |
| 6.3.6 | Pengaruh P-Delta..... | 192 |

BAB VII STRUKTUR PRIMER DAN *OUTRIGGER*197

| | | |
|-------|--------------------------------------|-----|
| 7.1 | Perencanaan Struktur Primer..... | 197 |
| 7.1.1 | Balok Induk | 197 |
| 7.1.2 | Kolom..... | 236 |
| 7.1.3 | Desain Hubungan Balok Kolom: | 258 |
| 7.1.4 | Shear Wall | 261 |
| 7.2 | Perencanaan Struktur Outrigger | 273 |
| 7.2.1 | Balok Outrigger..... | 273 |

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------------|
| 7.2.2 | Belt Truss | 285 |
| BAB VIII | PENUTUP | 295 |
| 8.1 | Kesimpulan | 295 |
| 8.2 | Saran..... | 298 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 301 |
| LAMPIRAN | | |
| | Lampiran A (Data Tanah) | |
| | Lampiran B (Spesifikasi Lift) | |
| | Lampiran C (Mutu Bata Ringan) | |
| | Lampiran D (Gambar Desain) | |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Ke efisiensi system struktur berdasarkan ketinggian | 5 |
| Gambar 2.2 Skema gaya inersia pada struktur bangunan..... | 8 |
| Gambar 2.3 Peta PGA untuk S_s ($T=0,2s$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun | 15 |
| Gambar 2.4 Peta PGA untuk S_1 ($T=1s$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun | 15 |
| Gambar 2.5 Spektrum respons desain | 22 |
| Gambar 2.6 Model 2D yang menunjukkan bangunan dengan atau tanpa balok tinggi | 27 |
| Gambar 2.7 Skema penempatan shear wall atau braced core, outrigger dan belt truss | 32 |
| Gambar 3.1 Bagan alir penyelesaian tugas akhir | 33 |
| Gambar 3.2 Bagan alir penyelesaian tugas akhir (lanjutan)..... | 34 |
| Gambar 3.3 Bagan alir penyelesaian tugas akhir (lanjutan)..... | 35 |
| Gambar 4.1 Denah Struktur Gedung Apartemen PDH Surabaya | 45 |
| Gambar 4.2 Balok Induk (BI-1) | 46 |
| Gambar 4.3 Balok Induk (BI-2) | 47 |
| Gambar 4.4 Balok Anak (BA-1) | 48 |
| Gambar 4.5 Dimensi Plat Lantai Tipe (S1) | 49 |
| Gambar 4.6 Balok (BI-1) As B joint 2-3..... | 50 |
| Gambar 4.7 Balok (BI-2) As 2 joint B-C | 52 |
| Gambar 4.8 Balok Anak (BA-1) As 2' joint B-C | 53 |
| Gambar 4.9 Daerah pembebanan kolom | 56 |
| Gambar 5.1 Dimensi Pelat Lantai Tipe S1 | 66 |
| Gambar 5.2 Nilai I_2 dan I_n pada Denah Lantai untuk Momen Arah sb.X..... | 69 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 5.3 Nilai I_2 dan I_n pada Denah Lantai untuk Momen Arah sb.Y | 70 |
| Gambar 5.4 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et | 72 |
| Gambar 5.5 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et | 76 |
| Gambar 5.6 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et | 81 |
| Gambar 5.7 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et | 85 |
| Gambar 5.8 Gambar Penulangan Pelat Lantai Tipe S1 | 92 |
| Gambar 5.9 Denah Stuktur Tangga | 95 |
| Gambar 5.10 Tampak Samping Struktur Tangga | 95 |
| Gambar 5.11 Pemodelan Struktur Tangga | 97 |
| Gambar 5.12 Gaya Lintang dan Momen Struktur Tangga | 100 |
| Gambar 5.13 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et | 102 |
| Gambar 5.14 Gambar Penulangan Struktur Tangga | 122 |
| Gambar 5.15 Geometrik Konsol Pendek | 123 |
| Gambar 5.16 Denah Lokasi Balok Anak | 128 |
| Gambar 5.17 Dimensi Balok Anak Tipe BA-1 | 129 |
| Gambar 5.18 Sketsa Penampang Balok Anak dan Perletakannya | 131 |
| Gambar 5.19 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et | 133 |
| Gambar 5.20 Nilai V_u Sejarak d' dari Muka Tumpuan | 140 |
| Gambar 5.21 Gambar Penulangan Balok Anak | 143 |
| Gambar 5.22 Penampang Lift | 144 |
| Gambar 5.23 Ilustrasi Pembebanan Balok Lift | 146 |
| Gambar 5.24 Momen Balok lift Kombinasi 1,4D (T.m) | 146 |
| Gambar 5.25 Geser Balok lift Kombinasi 1,4D (T) | 146 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 5.26 Dimensi Balok Lift | 147 |
| Gambar 5.27 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et..... | 149 |
| Gambar 5.28 Gambar Penulangan Balok Lift | 157 |
| Gambar 6.1 Pemodelan Desain Modifikasi Struktur..... | 159 |
| Gambar 6.2 Tampilan WEB Puskim dan Lokasi Kota Surabaya | 164 |
| Gambar 6.3 Kurva Respons Spektrum Desain | 165 |
| Gambar 6.4 Grafik Simpangan Akibat Gempa Tanpa Outrigger | 177 |
| Gambar 6.5 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 1 Outrigger | 180 |
| Gambar 6.6 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 2 Outrigger | 183 |
| Gambar 6.7 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 2 Outrigger | 186 |
| Gambar 6.8 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 2 Outrigger | 189 |
| Gambar 7.1 Tinggi Efektif Balok Induk..... | 198 |
| Gambar 7.2 Lokasi Balok Induk yang Ditinjau..... | 199 |
| Gambar 7.3 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto et..... | 204 |
| Gambar 7.4 Penampang Balok T | 214 |
| Gambar 7.5 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kiri..... | 216 |
| Gambar 7.6 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kanan..... | 217 |
| Gambar 7.7 Grafik lendutan yang terjadi pada balok..... | 219 |
| Gambar 7.8 Diagram momen pemberhentian tulangan..... | 222 |
| Gambar 7.9 Sket hasil perhitungan penulangan balok induk tipe B1-5 | 225 |
| Gambar 7.10 Denah lokasi kolom yang ditinjau | 234 |
| Gambar 7.11 Diagram interaksi kolom (arah X)..... | 235 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 7.12 Diagram interaksi kolom (arah Y)..... | 235 |
| Gambar 7.13 Output diagram interaksi kolom arahX | 236 |
| Gambar 7.14 Gambar detail penulangan balok B1-2 | 237 |
| Gambar 7.15 Output diagram interaksi kolom arahY | 238 |
| Gambar 7.16 Gambar detail penulangan balok B1-5 | 239 |
| Gambar 7.17 Gambar detail penulangan balok B1-4 | 240 |
| Gambar 7.18 Gaya geser desain untuk kolom dan balok | 243 |
| Gambar 7.19 Nilai Mpr kolom K1 | 244 |
| Gambar 7.20 Sket hasil perhitungan penulangan kolom tipe K1 | 248 |
| Gambar 7.21 Sket hasil perhitungan tulangan pada HBK..... | 254 |
| Gambar 7.22 Lokasi shearwall yang ditinjau | 255 |
| Gambar 7. 23 Detail penampang shearwall..... | 255 |
| Gambar 7.24 Diagram interaksi shearwall (arah X)..... | 262 |
| Gambar 7.25 Diagram interaksi shearwall (arah Y)..... | 262 |
| Gambar 7.26 Sket hasil perhitungan tulangan shearwall..... | 265 |
| Gambar 7.27 Tinggi efektif balok tinggi | 267 |
| Gambar 7.28 Zona Batas Regangan dan variasi factor reduksi ϕ dengan regangan tarik Neto et..... | 268 |
| Gambar 7.29 Sket hasil perhitungan penulangan balok tinggi As. F,1-2' | 277 |
| Gambar 7.30 Lokasi belt truss yang ditinjau | 278 |
| Gambar 7.31 Penampang pelat landas..... | 283 |
| Gambar 7.32 Sket desain sambungan <i>belt truss</i> | 287 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Kategori risiko..... | 11 |
| Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa | 12 |
| Tabel 2.3 Klasifikasi situs | 13 |
| Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a | 16 |
| Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v | 16 |
| Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek..... | 18 |
| Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik | 19 |
| Tabel 2.8 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x | 20 |
| Tabel 4.1 Resume pendimensian balok | 49 |
| Tabel 4.2 Resume Ketebalan Pelat Lantai..... | 55 |
| Tabel 4.3 Beban Mati Pada 1 Lantai | 56 |
| Tabel 4.4 Beban Mati Pada Lantai Atap | 57 |
| Tabel 4.5 Resume Dimensi Kolom | 60 |
| Tabel 5.1 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Atap | 64 |
| Tabel 5.2 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Lantai..... | 65 |
| Tabel 5.3 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe pelat..... | 93 |
| Tabel 5.4 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Tangga | 96 |
| Tabel 5.5 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Bordes..... | 97 |
| Tabel 6.1 Beban Mati Tambahan Lt. 40 (per- m^2) | 160 |
| Tabel 6.2 Beban Mati Tambahan Lt. 1-39 (per- m^2) | 160 |
| Tabel 6.3 Beban Hidup pada Lantai (per- m^2) | 161 |
| Tabel 6.4 Data N_{SPT} DB-1 | 162 |
| Tabel 6.5 Resume Nilai N Tiap Titik..... | 163 |
| Tabel 6.6 Ouput nilai - nilai parameter gempa..... | 164 |
| Tabel 6.7 Spektrum respons percepatan desain..... | 165 |
| Tabel 6.8 Berat dan Massa Seluruh Lantai (Manual) | 167 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 6.9 Berat dan Massa Total (Output SAP) | 168 |
| Tabel 6.10 Jumlah Respon Ragam dan Partisipasi Massa..... | 169 |
| Tabel 6.11 Besaran Periode Struktur | 171 |
| Tabel 6.12 $V_{Dinamik}$ output SAP..... | 172 |
| Tabel 6.13 $V_{Dinamik}$ output SAP Setelah dikali Skala | 173 |
| Tabel 6.14 Simpangan Antar Lantai Arah X Sebelum ada Outtrigger..... | 174 |
| Tabel 6.15 Simpangan Antar Lantai Arah Y Sebelum ada Outtrigger..... | 175 |
| Tabel 6.16 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 1 Outtrigger..... | 178 |
| Tabel 6.17 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 1 Outtrigger..... | 179 |
| Tabel 6.18 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 2 Outtrigger..... | 181 |
| Tabel 6.19 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 2 Outtrigger..... | 182 |
| Tabel 6.20 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 2 Outtrigger..... | 184 |
| Tabel 6.21 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 2 Outtrigger..... | 185 |
| Tabel 6.22 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 2 Outtrigger..... | 187 |
| Tabel 6.23 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 2 Outtrigger..... | 188 |
| Tabel 6.24 Nilai F dan V Struktur | 191 |
| Tabel 6.25 Pengaruh P-Delta arah X | 193 |
| Tabel 6.26 Pengaruh P-Delta arah Y | 194 |
| Tabel 7.1 Output Gaya Dalam Balok Induk | 199 |
| Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk | 226 |
| Tabel 7.3 Output gaya dalam kolom | 234 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 7.4 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe kolom | 249 |
| Tabel 7.5 Output gaya dalam shearwall | 256 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia, dimana keterbatasannya lahan kosong sehingga mengharuskan pola pembangunan gedung secara vertical. Pembangunan gedung secara vertical sangat rentan terhadap bahaya beban lateral seperti beban angin dan gempa. Untuk mengatasi masalah tersebut beberapa elemen dari gedung harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban lateral yang terjadi. Elemen utama gedung yang harus direncanakan terhadap pengaruh beban gempa antara lain balok, kolom, dan dinding geser.

Gedung Puncak Darma Husada (PDH), Apartement 40 lantai, merupakan gedung dengan konstruksi sistem ganda, dimana sistemnya terdiri dari rangka pemikul momen (balok dan kolom) dan dinding geser yang bekerja bersama-sama untuk menahan beban gravitasi hingga lateral (beban angin dan gempa). Sebagian besar atau 75% beban lateral (angin dan gempa) dipikul oleh dinding geser sehingga membuat dimensi dinding geser yang dibutuhkan menjadi besar karena momen lentur dan gaya geser yang harus ditahannya (Syahriar dan Mukarrom, 2012). Sehingga dinding geser yang digunakan perlu dianalisa keefektifitasannya karena semakin besar dimensi dinding geser semakin besar pula biaya konstruksinya.

Akan tetapi karena kebutuhan untuk estetika ruang yang lapang maka dimensi elemen bangunan dibuat seminim mungkin. Oleh karena itu akan dipasang *system outrigger* pada gedung PDH ini dengan mengkombinasikannya pada dinding geser. *Outrigger* sendiri merupakan komponen dari dinding yang berfungsi sebagai balok setinggi satu lantai. Penggunaan *outrigger* dapat mengurangi momen yang terjadi

pada dinding geser beserta kolom dinding geser sehingga bertujuan untuk memberikan kekakuan dalam mengurangi beban lateral. Hal ini dapat mengakibatkan dimensi dinding geser dapat direduksi. Penggunaan *outrigger* juga dapat menambah kekakuan struktur gedung. Penambahan kekakuan tersebut juga dapat mengurangi periode bangunan dan *drift* maksimum struktur yang berdampak pada kenyamanan pengguna yang merupakan aspek paling penting (Jahanshahi, Rahgozar, dan Malekinejad, 2012).

Dalam tugas akhir ini penulis merancang ulang desain Apartemen yang awalnya 39 (tiga puluh Sembilan) lantai dengan 1 (satu) lantai basement, 1 (satu) lantai atap, dan 37 (tiga puluh tujuh) lantai gedung dirubah menjadi 40 (empat puluh) lantai dengan menaikkan 1 (satu) lantai basement dan menambah satu lantai untuk lantai atap.

1.2. Rumusan Masalah

1.2.1 Permasalahan Utama

Bagaimana melakukan perancangan terhadap modifikasi struktur gedung Puncak Darma Husada Surabaya dengan kombinasi shearwall dan *Outrigger System* sehingga dapat memberikan kekakuan untuk mengurangi beban lateral (angin dan gempa) ?

1.2.2 Detail Permasalahan

Detail permasalahan dari permasalahan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan dimensi struktur (*preliminary design*) elemen struktur ?
2. Bagaimana cara mendesain *outrigger* agar momen yang terjadi pada dinding geser beserta kolom dinding geser dapat berkurang ?
3. Dimana penempatan *outrigger* yang tepat pada bangunan, supaya bisa menambah tingkat kekakuan dan juga dapat menambah kekuatan dari struktur ?

4. Apakah perlu menggunakan *belt truss*, bila perlu bagaimana cara disainnya dan dimana penempatannya ?
5. Beban apa saja yang bekerja pada struktur gedung tersebut ?
6. Bagaimana menganalisa gaya-gaya dalam struktur *outrigger system* sehingga mampu memenuhi syarat kekakuan dan daya tahan lateral ?
7. Bagaimana pemodelan dan menganalisa struktur dengan menggunakan program bantu *SAP 2000* ?
8. Bagaimana perubahan dari perilaku bangunan setelah menggunakan *outrigger system* ?
9. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan modifikasi ke dalam bentuk gambar teknik ?

1.3. Maksud dan Tujuan

Tujuan secara umum dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah agar dapat merencanakan struktur gedung menggunakan kombinasi *shearwall* dan *outrigger system* sehingga dapat memberikan tambahan redaman untuk mengurangi beban lateral (angin dan gempa).

Adapun tujuan secara rinci yang diharapkan dari perencanaan modifikasi struktur gedung ini adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan dimensi struktur (*preliminary design*) penampang struktur baru hasil modifikasi menggunakan *outrigger system*.
2. Mendesain *outrigger* agar momen yang terjadi pada dinding geser beserta kolom dinding geser dapat berkurang.
3. Menempatkan *outrigger* dengan tepat pada bangunan, supaya bisa menambah tingkat kekakuan dan juga dapat menambah kekuatan dari struktur.
4. Mendesain dan menempatkan *belt truss* dengan benar.

5. Menghitung pembebanan setelah adanya modifikasi struktur.
6. Menganalisa dan merencanakan struktur *outrigger system* yang memenuhi syarat kekakuan dan daya tahan lateral.
7. Memaodelkan dan menganalisa gaya dalam struktur bangunan yang telah dimodifikasi menggunakan program bantu *SAP 2000*.
8. Menganalisa atau mengetahui perubahan dari perilaku bangunan setelah menggunakan *outrigger system*.
9. Menuangkan hasil perencanaan dan perhitungan dalam bentuk gambar teknik.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sampai dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pada perencanaan ini tidak meninjau dari segi metode pelaksanaan, analisa biaya, arsitektural, dan manajemen konstruksi.
2. Perencanaan tidak meliputi instalasi mekanikal, elektrik, plumbing, dan saluran air.
3. Perencanaan struktur gedung tidak memperhitungkan struktur pondasi.
4. Pemodelan dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu *SAP 2000*.

1.5. Manfaat

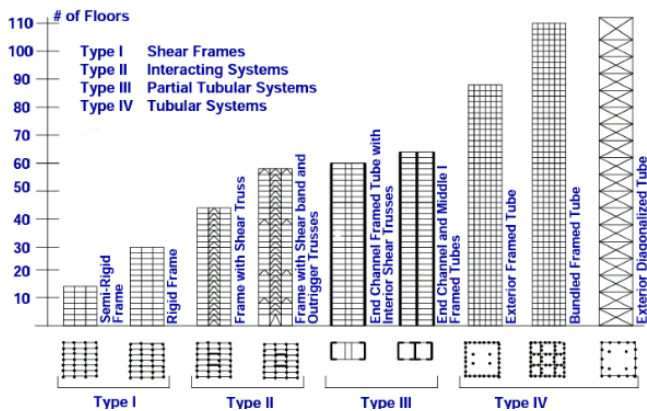
Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengaplikasikan teori yang didapat selama masa perkuliahan.
2. Memberi referensi mengenai rancangan bangun menggunakan metode *outrigger system*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Tingkat Tinggi

(Ali dan Moon 2007 dalam Ho 2016) Lomba menuju langit dimulai sejak manusia menemukan cara membuat batu bata, selain itu manusia juga memiliki keinginan membangun jalan menuju ke langit yang hampir seusia dengan peradabannya. Piramid kuno di Mesir, kuil Mayan di Tikal, Guatemala dan Kutub Minar di India adalah beberapa contoh yang nyata dan menjadi saksi dari keinginan tersebut. Sekarang, manusia (para engineer) menggunakan beton bertulang, baja, atau komposit (baja dan beton) untuk membangun bangunan bertingkat tinggi, ditambah lagi dengan banyaknya macam sistem struktur yang ada pada zaman ini.



Gambar 2.1 Ke efisienian system struktur berdasarkan ketinggian

Pada tahun 1965, Fazlur Khan menyadari bahwa hirarki dari sistem bangunan bertingkat tinggi ini dapat dikategorikan dengan tujuan dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk

penahan beban lateral (angin dan gempa). Tipe sistem pertama merupakan sistem penahan momen yang efisien untuk gedung bertingkat 20 hingga 30 lantai (Gambar 2.1). Tipe berikutnya merupakan generasi dari sistem turbular dengan efisiensi dari kantilever yang tinggi. Tampilan bagan dari sistem ini terus dimodernisasi secara periodik dalam jangka waktu tertentu apabila ada sistem baru yang ditemukan dan dikembangkan dalam perencanaan bangunan bertingkat tinggi. Gedung *Equitable Life Assurance* di New York merupakan konstruksi beton bertulang yang selesai di bangun pada tahun 1870 dengan ketinggian 40 m ini dinobatkan sebagai bangunan tinggi pertama di dunia, sistem struktur yang digunakan adalah rangka yang simpel, dengan tinggi bangunan yang terus meningkat dan desain bangunan akan dikendalikan oleh kekakuan dan perpindahan.

2.2 Sistem Struktur

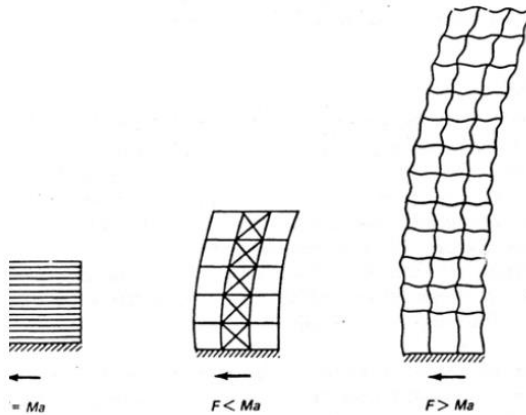
Pada perencanaan gedung system struktur yang digunakan merupakan hal yang perlu diperhatikan. Faktor daya tahan terhadap gempa mengharuskan suatu bangunan gedung memiliki system struktur yang sesuai berdasarkan SNI 1726-2012 yang ditentukan berdasarkan Kategori Desain Seismiknya (KDS). Suatu bangunan yang dirancang tahan gempa harus memenuhi tiga syarat dibawah ini :

1. Gempa ringan adalah nilai beban gempa yang diturunkan dari factor $R = \mu \times f_1$. Struktur harus dapat berespons elastic tanpa mengalami kerusakan baik pada elemen structural dan elemen non structural.
2. Gempa sedang adalah nilai beban gempa yang diturunkan dari nilai daktilitas struktur (μ). Struktur bangunan boleh mengalami kerusakan ringan pada lokasi yang mudah diperbaiki yaitu pada lokasi sendi plastis. Struktur pada tahap ini merupakan tahap *force yield* yang merupakan parameter penting karena merupakan batas antara kondisi elastic (tidak rusak) dan kondisi plastis (rusak) tetapi tidak

robah atau disingkat sebagai batas antara beban gempa ringan dan beban gempa kuat.

3. Gempa kuat adalah nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10% atau nilai beban gempa yang periode ulangnya 500 tahun. Risiko kerusakan harus dapat diterima tapi tanpa terjadi keruntuhan pada struktur. Jadi, kerusakan struktur pada saat gempa kuat terjadi harus didesain pada tempat-tempat tertentu sehingga mudah diperbaiki setelah gempa kuat terjadi.

Perilaku bangunan pada saat dikenai beban gempa berkaitan erat dengan perilaku getaran. Beban gempa horizontal yang bekerja akibat dari pergerakan tanah dapat menyebabkan pergeseran lantai pada bangunan. Pergeseran lantai pada bangunan ini disebabkan oleh distribusi gaya geser dasar (base shear) ke setiap lantai pada bangunan. Gaya geser per lantai inilah yang menyebabkan terjadinya *displacement* pada bangunan sehingga bangunan bergetar. Beban gempa tidak secara langsung merusak struktur bangunan seperti beban angin yang langsung mendorong bangunan, tetapi merusak bangunan dengan menimbulkan gaya inersia pada struktur yang disebabkan oleh ikut bergetarnya bangunan akibat pergerakan tanah. Gaya inersia sendiri ditentukan oleh massa bangunan, percepatan tanah dasar, pondasi bangunan, dan karakteristik dinamik dari sistem struktur yang dipakai. Secara umum, bangunan bertingkat tinggi memiliki respons structural yang berbeda dengan bangunan bertingkat rendah dalam hal beban gempa (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Skema gaya inersia pada struktur bangunan

High rise building memiliki sifat lebih fleksibel dibandingkan dengan bangunan *low rise building* dan berdasarkan studi bangunan bertingkat tinggi memiliki nilai percepatan yang lebih kecil dibandingkan dengan bangunan bertingkat rendah. Namun besarnya gaya gempa tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya nilai percepatan struktur, melainkan juga dipengaruhi oleh besarnya respons struktur terhadap beban gempa dan kekakuan pondasinya, juga periode strukturnya. Oleh karena itu dalam pemilihan suatu sistem bangunan perlu dilakukan pertimbangan yang menyeluruh akibat beban-beban yang terjadi pada gedung tersebut dan efek dari beban lateral yang ada sesuai dengan lokasi gedung tersebut, agar gedung yang direncanakan dapat memenuhi syarat kekuatan dan keamanan.

2.3 Pembebanan

Jenis pembebanan yang diperhitungkan pada gedung apartemen puncak dharma husada ini berdasarkan SNI 1727-2013, SNI 1726-2012, dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.

2.3.1 Beban Mati

Dalam menentukan beban mati dalam perencanaan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang digunakan harus nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang SNI 1727-2013. Maka untuk perhitungan beban mati digunakan peraturan lama yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – PPIUG 1983.

Pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.1) untuk beban mati ialah berat dari semua bagian dari struktur gedung yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup sesuai dengan yang tercantum pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.2) adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Adapun beban hidup yang diperhitungkan dalam perencanaan modifikasi gedung apartemen adalah sebagai berikut :

1. Beban hidup untuk lantai gedung dengan fungsi sebagai apartemen sebesar 250 kg/m^3 (PPIUG 1983 tabel 3.1)

2. Beban hidup untuk lantai atap sebesar 100 kg/m^3 (PPIUG 1983 tabel 3.1)

2.3.3 Beban Angin

Beban angin sesuai dengan yang tercantum pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.3) ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang ditentukan dalam pasal 4.2 (PPIUG 1983) dengan koefisien-koefisien angin yang ditentukan dalam pasal 4.3 (PPIUG 1983).

2.3.4 Beban Gempa

Beban gempa yang di gunakan sesuai dengan SNI 1726-2012 dan Peta *Hazard 2010*. Analisa gempa pada pengerjaan tugas akhir ini menggunakan analisa dinamik. Analisa respon dinamik ada dua metode yaitu analisa ragam spectrum respons dan analisa respon dinamik riwayat gempa. Namun untuk beban gempa yang digunakan dalam gedung apartemen ini hanya menggunakan analisa ragam spectrum respons saja. Respons Spektrum merupakan grafik yang menunjukkan nilai besaran respons struktur dengan periode (waktu getar) tertentu. Perhitungan pengaruh gempa diperhitungan sebagai gaya yang membebani struktur, maka dalam hal ini respons percepatan yang lebih diperhatikan. Sesuai dengan hukum Newton II disebutkan bahwa gaya adalah massa dikalikan percepatan, maka dengan diketahui percepatan tiap massa, struktur gedung

dapat diperhitungkan besarnya gaya gempa yang membebani gedung tersebut. Berikut hal-hal yang harus diperhatikan dalam analisa gempa menggunakan SNI 1726-2012.

1. Menentukan kategori resiko dan factor keutamaan struktur gedung

Analisa terhadap kategori gedung diperlukan agar beban gempa yang diperhitungkan sesuai dengan fungsi dari gedung yang direncanakan. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung (Tabel 2.1) beserta Faktor Keutamaan Gedung (Tabel 2.2) disyaratkan berdasarkan SNI 1726-2012.

Tabel 2.1 Kategori risiko

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|---|------------------------|
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan ; rumah toko dan rumah kantor/restaurant - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik | II |

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa (I) |
|------------------------|-----------------------------------|
| II | 1,0 |

2. Penentuan jenis tanah

Sebelum memperhitungkan beban gempa harus mengetahui kelas situsnya dan harus mengetahui jenis tanahnya. Jenis tanah yang digunakan ditentukan berdasarkan kelas situs sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 5.3 dengan tiga parameter yang mempengaruhi yaitu kecepatan rata-rata gelombang geser V_s , tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata \bar{N} , kuat geser nilai rata-rata S_u . Karena data tanah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah hasil SPT maka parameter yang bisa dipakai adalah tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata \bar{N} yang sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 5.4.2, sebagai berikut.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n_i}}$$

(2-1)

Dimana :

d_i = Kedalaman lapisan tanah uji

N_i = Nilai SPT

$\sum_{i=1}^n d_i$ = 30 meter atau lebih (2-2)

Dari hasil perhitungan parameter penentuan jenis tanah akan didapatkan jenis tanah yang sesuai table 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Klasifikasi situs

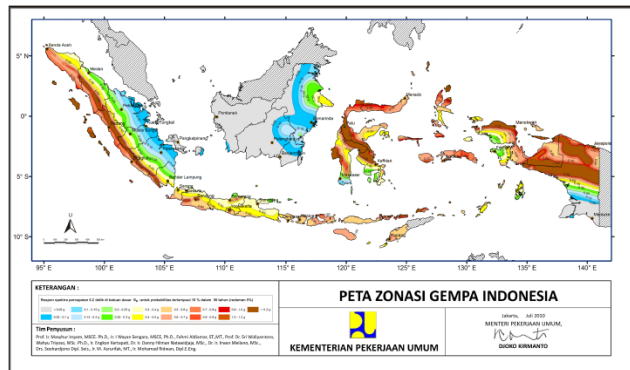
| Kelas Situs | \bar{v}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{s}_u (kPa) |
|---|---|-------------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350 sampai 750 | >50 | ≥ 100 |
| SD (Tanah Sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (Tanah Lunak) | <175 | <15 | <50 |
| | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralar $\bar{s}_u < 25$ kPa | | |

| | |
|---|---|
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik – situs yang mengikuti 6.10.1) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa |
|---|---|

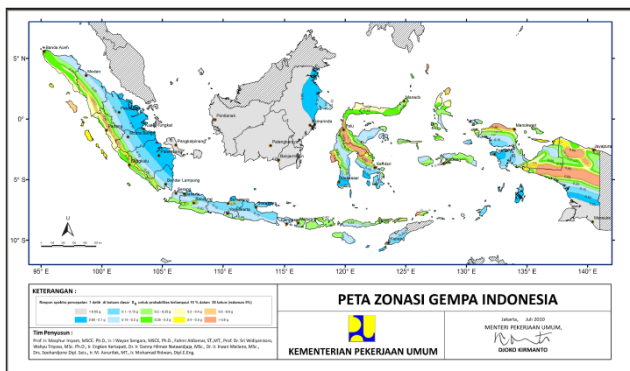
Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

3. Parameter percepatan terpetakan

Parameter yang digunakan adalah S_s (Percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) yang harus ditetapkan masing-masing dari respon spectral percepatan di batuan dasar (SB) untuk 0,2 detik dan 1 detik dalam Peta Percepatan Puncak (PGA) kemungkinan 10% terlampaui dalam 50 tahun (gempa 500 tahun).



Gambar 2.3 Peta PGA untuk S_s ($T=0,2s$) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



Gambar 2.4 Peta PGA untuk S1 (T=1s) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Dari gambar 2.3 dan gambar 2.4 maka didapat koefisien situs sesuai dengan kelas situs tanahnya yang tergantung pada lokasi gedung tersebut. Tabel 2.4 dan table 2.5 menjelaskan koefisien situs sesuai dengan kelas situs.

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | SS^b | | | | |

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_I | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | SS^b | | | | |

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

4. Parameter percepatan respon spectral

Untuk menentukan respon spectral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu factor amplikasi seismic pada periode 0,2 detik dan pada periode 1 detik. Factor amplikasi meliputi factor amplikasi getaran terkait dengan percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan factor amplikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (SM_s) dan periode 1 detik (SM_1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$S_{MS} = F_a.S_s \quad (2-3)$$

$$S_{M1} = F_v.S_1 \quad (2-4)$$

Dimana :

S_s = parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Setelah menentukan parameter percepatan respons spectral didapatkan parameter percepatan spectral

desain pada periode pendek (SD_s) dan parameter percepatan spectral desain pada periode 1 detik (SD_1) dengan persamaan (2-5) dan (2-6) :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-6)$$

6. Kategori desain seismic
Suatu struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismic berdasarkan tabel 2.6 dan 2.7 :

Tabel 2.6 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

| Nilai SDS | Kategori risiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $SDS < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq SDS \leq 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq SDS \leq 0,50$ | C | D |
| $0,33 \leq SDS$ | D | D |

Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

| Nilai <i>SDS</i> | Kategori risiko | |
|-----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $SDI < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq SDI \leq 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq SDI \leq 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq SDI$ | D | D |

7. Kombinasi sitem perangkai dalam arah yang berbeda
Sistem perangkai gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila system yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus dikenakan pada setiap system, sesuai SNI 1726-2012 Tabel 9.

8. Periode fundamental pendekatan
Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dalam persamaan (2-7), sebagai berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-7)$$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur.

C_t & x = ditentukan dalam tabel 2.8

Tabel 2.8 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

| Tipe Struktur | C_t | x |
|--|---------------------|------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa : | | |
| Rangka baja pemikul momen | 0.0724 ^a | 0.8 |
| Rangka beton pemikul momen | 0.0466 ^a | 0.9 |
| Rangka baja dengan bresing eksentris | 0.0731 ^a | 0.75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0.0731 ^a | 0.75 |
| Semua system struktur lainnya | 0.0488 ^a | 0.75 |

Periode fundamental pendekatan, T_a (detik), untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari persamaan (2-8) sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}} \cdot h_n \quad (2-8)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \cdot \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_1} \right)^2 \cdot \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \cdot \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (2-9)$$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur (m)

A_B = luas dasar struktur, m^2

A_i = luas bidang dinding geser “i”, m^2

D_i = panjang dinding geser “i”, m

h_i = Tinggi dinding geser “i”, m

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

9. Membuat respon spectrum desain

Bila spectrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spectrum respons desain harus dikembangkan dengan gambar 2.5 dan mengikuti ketentuan dibawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spectrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan (2-10) :

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-10)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan (2-11) :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-11)$$

Keterangan :

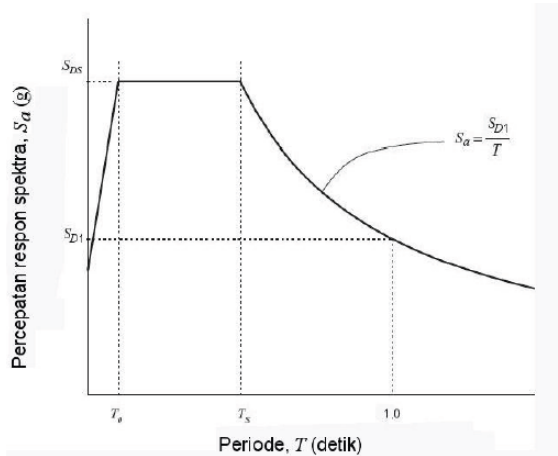
S_{DS} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek,

S_{D1} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik,

T = Periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-12)$$

$$T_0 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-13)$$



Gambar 2.5 Spektrum respons desain

10. Gaya dasar seismic

Gaya geser dasar seismic, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2-14) :

$$V = C_s \cdot W \quad (2-14)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismic yang ditentukan sesuai dengan persamaan (2-15).

W = Berat seismic efektif (berat bangunan).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-15)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam persamaan (2-5)

R = Faktor modifikasi respons dalam SNI 1726-2012 Tabel 9.

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dalam tabel 2.2.

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan (2-15) tidak perlu melebihi persamaan (2-16):

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-16)$$

dan C_s harus tidak kurang dari (2-17) :

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (2-17)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari (2-18) :

$$C_s = \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-18)$$

Keterangan :

S_{D1} = parameter percepatan spectrum respons desain pada periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam persamaan (2-6),

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan persamaan (2-7),

S_1 = parameter percepatan spectrum respons maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai SNI 1726-2012 pasal 6.10.4.

11. Distribusi vertical gaya gempa

Distribusi vertical gaya gempa , F_x (kN), yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan (2-20)

:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2-20)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad (2-21)$$

Keterangan :

C_{vx} = factor distribusi vertical

V = gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (kN)

w_i & w_x = bagian berat seismic efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x,

h_i & h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut :

struktur dengan periode 0,5 detik atau kurang, $k= 1$

struktur dengan periode 2,5 detik atau lebih, $k= 2$

struktur dengan periode antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi antara 1 dan 2.

12. Distribusi horizontal gaya gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat , V_x (kN), harus ditentukan persamaan (2-22) berikut :

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2-22)$$

Keterangan :

F_i = bagian dari geser dasar seismic, V (kN), yang timbul di tingkat i.

2.3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726-2012 untuk metode ultimate pasal 4.2.2 dan untuk metode tegangan ijin pasal 4.2.3. Adapun kombinasi beban yang distyartkan dalam SNI 1726-2012 sebagai berikut :

- Kombinasi beban ultimate
 - $1,4D$ (2-23)
 - $1,2D+1,6L+0,5(Lr \text{ atau } R)$ (2-24)
 - $1,2D+1,6(Lr \text{ atau } R)+ (L \text{ atau } 0,5W)$ (2-25)
 - $1,2D+1,0W+L+0,5(Lr \text{ atau } R)$ (2-26)
 - $1,2D+1,0E+L$ (2-27)
 - $0,9D+1,0W$ (2-28)
 - $0,9D+1,0E$ (2-29)
- Kombinasi beban ijin
 - D (2-30)
 - $D+L$ (2-31)
 - $D+ (Lr \text{ atau } R)$ (2-32)
 - $D+0,75L+0,75(Lr \text{ atau } R)$ (2-33)
 - $D+(0,6W \text{ atau } 0,7E)$ (2-34)
 - $D+0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E)+0,75L+0,75(Lr \text{ atau } R)$ (2-35)
 - $0,6D+0,6W$ (2-36)
 - $0,6D+0,7E$ (2-37)

Dimana :

- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- Lr = Beban Hidup pada Atap
- W = Beban Angin
- R = Beban Air Hujan
- E = Beban gempa

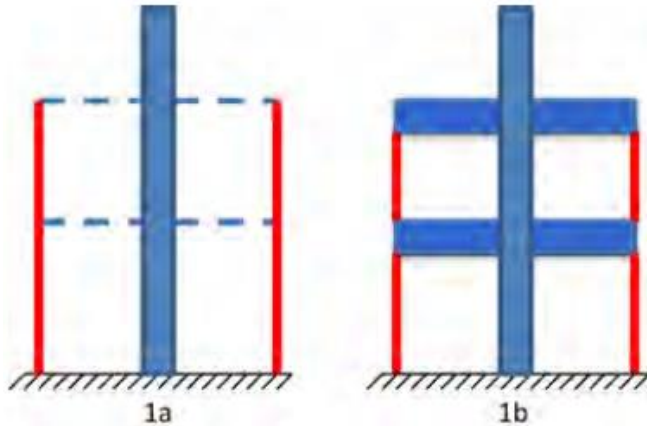
2.4 Outrigger system

Inovasi dalam perencanaan struktur terus menerus berkembang di dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi dengan tujuan dapat menahan beban lateral (gempa dan

angin). Seiring dengan perkembangan zaman banyak sistem dan metode perancangan yang dapat digunakan untuk bangunan tingkat tinggi.

Disamping elemen struktur untuk bangunan tahan gempa yang telah disebutkan sebelumnya, masih ada lagi sistem lainnya yang mampu mendukung sebuah bangunan menjadi bangunan tahan gempa. Salah satu system elemen struktur untuk bangunan tahan gempa lainnya adalah *outrigger system*.

Outrigger system merupakan sistem yang paling baru bagi Negara kita karena aplikasinya masih relatif sedikit dibandingkan sistem konvensional. *Outrigger system* memiliki ke efisiensi yang bisa sampai 150 lantai. Hong Kong Cheung Kong Center (290 m), Hong Kong IFC2 (380 m), Hong Kong ICC(450 m), Taipei 101 (509 m), Guangzhou CTF Tower (520 m) adalah contoh tipe gedung tinggi yang menggunakan sistem *outrigger*. Dengan tinggi bangunan yang terus meningkat desain bangunan akan dikendalikan oleh kekakuan dan perpindahan. Dengan prinsip engineering yang simple seperti pada (Gambar 2.1), daya tahan lateral meningkat apabila struktur di pinggir dapat bergandengan dengan struktur inti (Gambar 2.1 (1b)). Selain itu semakin tinggi balok yang membentang dari inti bangunan ke pinggir bangunan, maka semakin kaku pula bangunan tersebut.



Gambar 2.6 Model 2D yang menunjukkan bangunan dengan atau tanpa balok tinggi

Oleh karena itu, engineer mulai mempertimbangkan untuk menggunakan balok pengaku untuk menghubungkan inti bangunan dan pinggir bangunan. Hal tersebut menjelaskan bahwa semakin kaku balok yang digunakan maka juga akan meningkatkan kekakuan lateral dari bangunan. Ketika ketinggian suatu bangunan bertambah, akan sangat sulit menerapkan konsep balok kaku, oleh karena itu dikembangkan sistem *outrigger*. Outrigger sendiri merupakan sebuah komponen struktur (balok tinggi) yang berfungsi menghubungkan kolom eksterior melalui *belt truss* dengan *shear wall* dan berguna untuk menambah kekakuan pada bangunan dengan mengubah gaya lateral menjadi gaya tarik dan gaya tekan pada pinggir struktur (Ho, 2016). Oleh sebab itu, *outrigger* dibutuhkan untuk menolak, membalik, dan memutar beban. Dari prinsip engineer, topologi dari sistem *outrigger* harus simetris untuk beban keatas dan beban kebawah yang menyediakan kemampuan yang sama dalam semua bentuk beban. Jika topologi yang simetris tidak dapat

dipakai, maka *engineer* harus berhati-hati dengan kalakuan *outrigger* terhadap beban putar.

2.4.1 Keuntungan menggunakan *outrigger system*

Untuk bangunan pada tingkat tinggi secara umum, jawaban dari permasalahan pada struktur *core* dan sistem turbular adalah daya kerja dari satu atau lebih dari lantai yang dipasang *outrigger*. *Outrigger* menghubungkan *shear wall* pada bangunan dengan kolom terluar pada bangunan dengan sistem *truss* maupun elemen dinding. Sistem *outrigger* dapat dibentuk dengan kombinasi baja, beton, maupun struktur komposit. Ketika *outrigger* telah dipasang dan didefleksikan dengan baik, maka dapat memberikan keuntungan secara structural dan fungsional bagi keseluruhan perencanaan bangunan, diantaranya :

1. Momen yang berputar pada inti dan peningkatan *deformasi* yang terjadi dapat dikurangi melalui momen yang berputar berlawanan arah yang bekerja pada *shear wall* pada masing-masing persimpangan *outrigger*. Momen ini ditimbulkan dari pasangan gaya pada kolom terluar yang terhubung dengan *outrigger*.
2. Pengurangan yang signifikan dan kemungkinan hilangnya gaya ke atas dan gaya regang melalui kolom dan pondasi.
3. Penempatan jarak kolom terluar tidak didasarkan pada pertimbangan structural saja dan dapat dengan mudah dikaitkan dengan pertimbangan estetika dan fungsional.
4. Framing terluar dapat berupa balok biasa yang sederhana dan framing kolom tanpa harus membutuhkan sambungan frame yang kaku, mengakibatkan perancangan bangunan lebih ekonomis.

Pada struktur gedung dengan ketinggian tertentu *outrigger* dapat dikatakan mampu menekan total biaya

konstruksi struktur gedung. Penggunaan *outrigger* dapat menambah kekakuan struktur, karena bila struktur menggunakan kombinasi antara *shear wall* dan *outrigger* maka daktilitas struktur akan lebih kecil ketimbang tanpa menggunakan *outrigger* (hanya *shear wall*). Hal ini berdampak dapat diperkecilnya elemen-elemen struktur lain terutama *shear wall*. Dengan konsep demikian maka dengan penambahan *outrigger* pada elemen struktur tahan gempa dapat menekan total biaya konstruksi.

2.4.2 Kelemahan menggunakan *outrigger system*

Setiap sistem perencanaan dan material struktur tentunya memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Begitu pula dengan sistem *outrigger* yang mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya dapat mengurangi *displacement* serta *drift* bangunan akibat beban lateral. Tetapi, hal ini juga tidak terluput dari beberapa kelemahan. Ada beberapa masalah yang dapat membatasi aplikasi dari konsep di dalam lapangan, diantaranya :

1. Ruang yang terpakai akibat pemasangan *outrigger* memakan banyak tempat di lantai dimana *outrigger* dipasang, sehingga berkemungkinan satu lantai yang menggunakan *outrigger* tidak dapat difungsikan sebagai mana mestinya, kecuali untuk gudang atau ruang *service*.
2. Pada umumnya kekakuan pada *outrigger* sangat tinggi, lendutan vertikal kecil yang disebabkan penyusutan dari kerangka inti dan tepi terutama karena lendutan elastis, susut dan rangkak, akan menyebabkan gaya yang sangat besar pada elemen *outrigger*. Meskipun engineer dapat dengan mudah memprediksi berapa besar penyusutan elastis, susut dan rangkak keduanya bergantung pada variabel waktu. Itu juga menjelaskan bahwa susut dan rangkak

tidak akan terjadi saat bangunan sudah jadi atau dalam pengerjaan.

3. Cara menghubungkan *outrigger* dengan *shearwall* dapat menjadi suatu hal yang sangat rumit. Tingkat kesulitan akan semakin tinggi apabila sistem *outrigger* dan *shear wall* memiliki perbedaan bahan (beton dan baja).

Akan tetapi dengan perkembangan zaman dan studi lebih lanjut mengenai *outrigger* system maka permasalahan-permasalahan diatas akan menemukan titik terang dan mendapatkan setiap solusinya.

2.4.3 Aplikasi

Dalam konsep penggunaan *outrigger* yang konvensional, *outrigger* terhubung langsung dengan *shear wall* dan kolom eksterior dari bangunan yang mengonversi momen pada *shear wall* menjadi pasangan gaya vertical pada kolom. Tetapi didalam perencanaan dan aplikasi dilapangan, *outrigger* tidak bisa direncanakan secara independen. Kenyataanya, untuk merencanakan suatu bangunan tingkat tinggi yang menggunakan *outrigger* juga dapat dikombinasikan dengan sistem structural lainnya yang juga dikenal dengan *belt truss*.

2.4.4 Belt truss

Belt truss merupakan sistem pengaku yang juga menunjang dan menopang *outrigger* dan terdiri dari struktur rangka batang. *Belt truss* sendiri juga hanya dipasang pada lantai-lantai tertentu sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat. Jadi, dimana batang-batang *outrigger* diletakkan, dipasang dan direncanakan maka disana pula terdapat belt truss (gambar 2.7) yang lebih sering berupa profil dari baja dan akan mendukung kinerja dari *outrigger* sendiri.

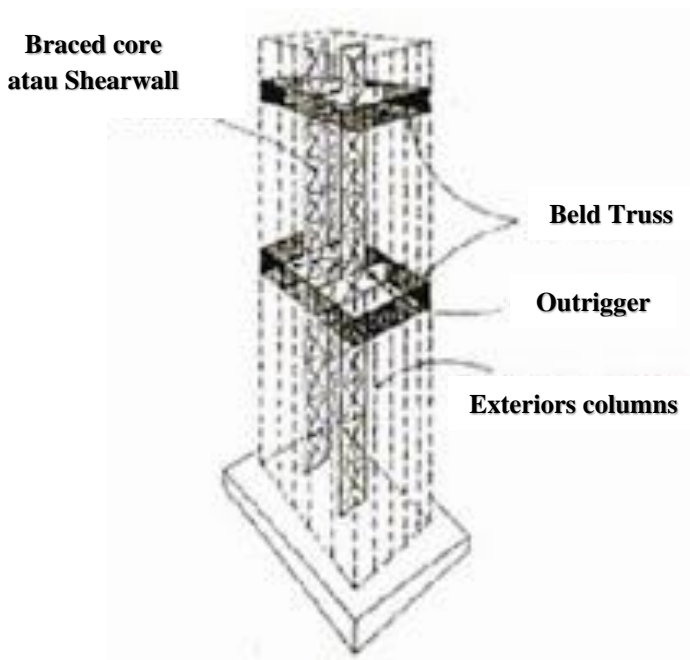
Belt truss tidak terhubung dengan *shear wall* yang ada pada bangunan. *Belt truss* dipasang dengan posisi

mengelilingi seluruh bagian terluar dari struktur yang menghubungkan kolom-kolom terluar dari bangunan secara horizontal.

Beberapa keuntungan dari penggunaan *belt truss* sebagai sistem yang dapat mengeliminir masalah-masalah yang timbul pada sistem *outrigger* ini, antara lain :

- a. Tidak adanya balok diagonal “raksasa” yang terbentang dari *shear wall* hingga bagian luar dari gedung (kolom-kolom eksterior).
- b. Penempatan kolom-kolom super tidak terikat dengan syarat lokasi tertentu karena *belt truss* berada disekeliling bangunan.
- c. Perbedaan perpendekan antara *shear wall* dengan kolom eksterior tidak mempengaruhi kinerja dari *outrigger*, hal ini disebabkan karena *belt truss* diletakkan disekeliling struktur dan tidak berhubungan langsung dengan shearwall.

Sistem *belt truss* mampu mengeliminasi hubungan langsung anatar *shearwall* dengan kolom-kolom eksterior yang dilakukan balok *outrigger*.



Gambar 2.7 Skema penempatan shear wall atau braced core, outrigger dan belt truss

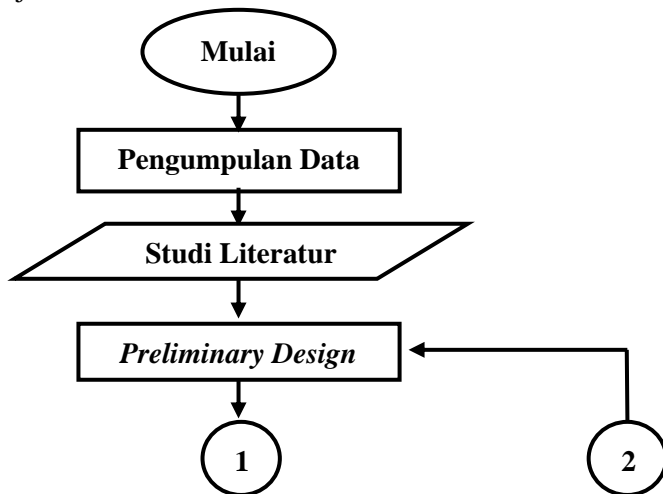
BAB III METODOLOGI

3.1 Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir

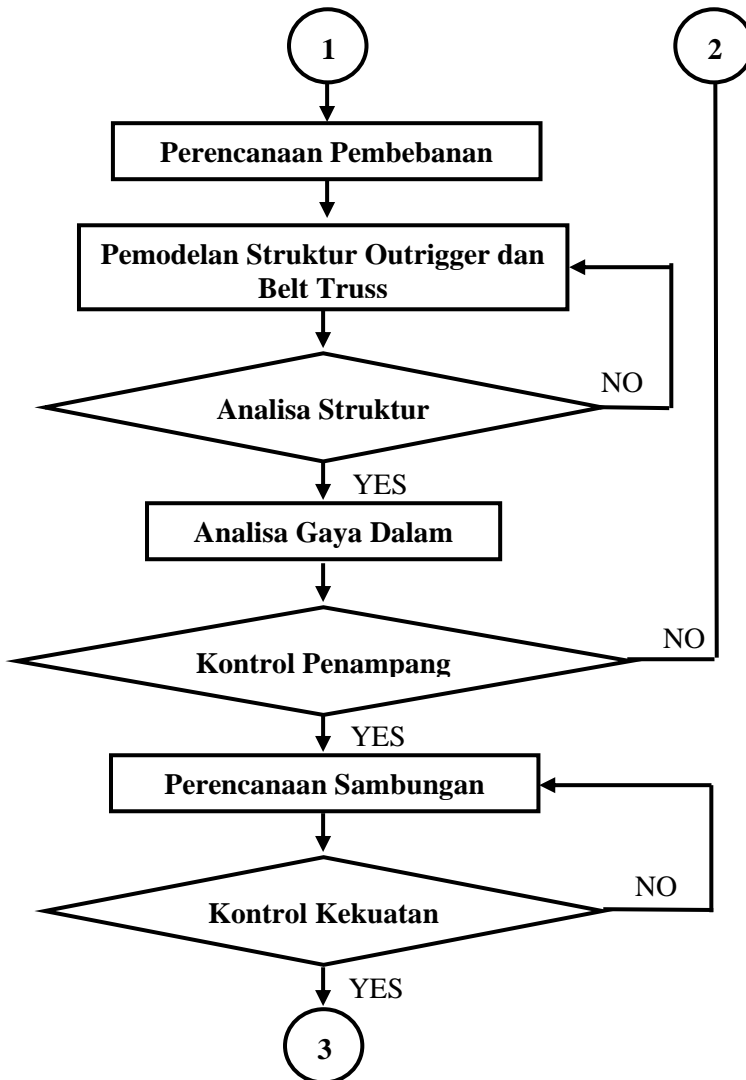
Tahap pengerjaan untuk memudahkan penyelesaian dalam tugas akhir ini yang diperlukan mulai dari pengumpulan data, studi literature, mendesain Sistem Rangka *Outrigger* dan *Belt Truss*, menghitung berat bangunan, analisa elemen (primer dan sekunder), menentukan periode getar, perpindahan (displacement), sampai dengan kesimpulan akhir dari tugas akhir ini yaitu mendapatkan disain gedung menggunakan *Outrigger System* dan dituangkan dalam bentuk gambar teknik.

3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

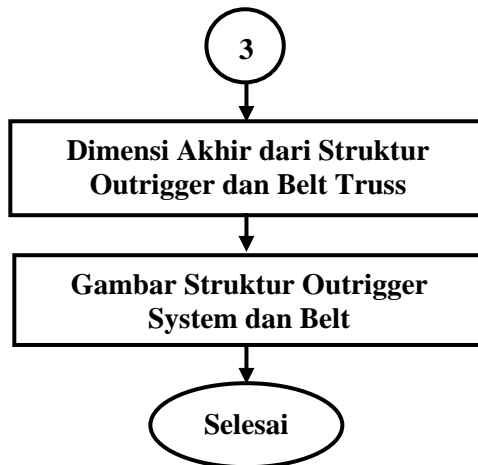
Bagan alir merupakan gambaran umum dari tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, dimana dalam penyelesaian tugas akhir ini bagan alir akan tersaji dalam Gambar 3.1 dan Gambar 3.2



Gambar 3.1 Bagan alir penyelesaian tugas akhir



Gambar 3.2 Bagan alir penyelesaian tugas akhir (lanjutan)



Gambar 3.3 Bagan alir penyelesaian tugas akhir (lanjutan)

3.3 Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data yang diperlukan berupa :

3.3.1 Data Umum Bangunan

| | |
|-----------------|---|
| Nama Gedung | : Apartemen Puncak Dharma Husada |
| Fungsi | : Apartemen |
| Jumlah Lantai | : 39 Lantai |
| Tinggi Gedung | : 113,5 m |
| Struktur Gedung | : Beton Bertulang |
| Sistem Struktur | : Sistem Ganda (Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen) |

3.3.2 Data Modifikasi

| | |
|-----------------|----------------------------------|
| Nama Gedung | : Apartemen Puncak Dharma Husada |
| Fungsi | : Apartemen |
| Jumlah Lantai | : 40 Lantai |
| Tinggi Gedung | : 118 m |
| Struktur Gedung | : Beton Bertulang dan Baja |

Sistem Struktur : Kombinasi *Shearwall* dan *Outrigger System*

3.3.3 Data Bahan

Beton : $f_c' = 41.5 \text{ MPa}$
 Baja Tulangan : ($D10 < f_y = 390 \text{ MPa}$)
 ($D10 > f_y = 240 \text{ MPa}$)
 Baja Profil : BJ-41

3.3.4 Data Tanah

Data tanah yang digunakan berasal dari hasil pengujian BORING LOG dari beberapa titik dilokasi pembangunan Gedung Puncak Dharma Husada Surabaya.

3.4 Studi Literatur

Melakukan studi referensi berupa peraturan, buku pustaka, literature, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan perencanaan struktur *Outrigger System*.

3.4.1 Peraturan Yang Digunakan

1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983,
2. SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
3. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010,
4. SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung,
5. SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung,
6. SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bngunan Gedung,
7. SNI 1729-2015 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

3.4.2 Literatur Yang Berkaitan

Untuk literature yang berkaitan menggunakan buku karangan dari Bungale S. Taranath, 2012 yang berjudul “*Structural Analysis and Design of Tall Building for Steel and Composite Construction*”.

3.5 Pre Eliminary Design

Preliminary deign merupakan perencanaan awal untuk memperkirakan dimensi komponen struktur dan diperlukan dalam analisa pada perencanaan awal dari gedung ini.

3.5.1 Dimensi Pelat

Berdasarkan SNI 2847-2013 penentuan dimensi pelat dapat ditentukan berdasarkan dua kondisi berikut:

- a. Bila, $L_y/L_x > 2$ maka termasuk dalam pelat satu arah, untuk tebal minimum pelat satu arah telah diatur pada *SNI 2847-2013 pada pasal 9.5.2*.
- b. Bila, $L_y/L_x < 2$ maka termasuk dalam pelat dua arah, untuk tebal minimum pelat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan dari *SNI 2847-2013 pada pasal 9.5.3*.

3.5.2 Dimensi Tangga

Penentuan dimensi tangga dapat direncanakan dengan rumus-rumus berikut :

$$0,6 < (2t + i) < 0,65 \text{(meter)} \quad (3-1)$$

Dimana : t = tanjakan < 25 cm.
 i = injakan dengan $25 \text{ m} < i < 40 \text{ cm}$ dan maksimum sudut tangga 40°

- Sudut kemiringan tangga (α)

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i} \quad (3-2)$$

- Jumlah tahanan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$

(3-3)

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

(3-4)

- Tebal efektif pelat anak tangga (d) dengan perbandingan luas segitiga :

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} \times i \times t = \frac{1}{2} \times \left(\sqrt{i^2 + t^2} \right) \times d$$

Maka, Tebal Efektif Pelat Tangga = Tebal pelat tangga rencana + $\frac{1}{2} d$

3.5.3 Dimensi Balok

Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan SNI 2847-2013 pada Tabel 9.5(a), sedangkan lebarnya dapat diambil dari $2/3$ tinggi balok yang telah didapat.

3.5.4 Dimensi Kolom

Kolom harus direncanakan untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau, menurut SNI 2847-2013 pasal 8.10.1.

3.5.5 Dimensi Shear Wall (dinding geser) dan Outrigger

Outrigger merupakan komponen dari dinding geser berupa balok setinggi satu lantai, dimana perhitungan dimensinya dapat ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 sebagai berikut:

3.5.5.1 Shear Wall (dinding geser)

Tebal *shear wall* (dinding geser) disyaratkan pada SNI 2847-2013 pasal 22.6.6.2.

3.5.5.2 Outrigger

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.7.1 disebutkan bahwa balok tinggi merupakan komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga serat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan. Sehingga balok tinggi harus memenuhi syarat pada pasal 10.7.1.

3.5.6 Dimensi Belt Truss

Untuk tugas akhir ini *belt truss* direncanakan dari rangka baja, dimana dalam disainnya profil direncanakan sesuai dalam Tabel Profil Konstruksi Baja (Gunawan dan Morisco).

3.6 Perencanaan Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur ini berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, SNI 1727-2013, dan SNI 1726-2012. Pembebanan tersebut antara lain:

3.6.1 Beban mati (DL)

Dalam menentukan beban mati dalam perencanaan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang digunakan harus nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang (SNI 1727-2013). Maka untuk perhitungan beban mati digunakan peraturan lama yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung – PPIUG 1983.

3.6.2 Beban hidup (LL)

Beban hidup sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1727-2013 yang terdiri dari beban hidup lantai dan atap yang diakibatkan oleh penghuni gedung.

3.6.3 Beban angin (WL)

Beban angin sesuai dengan yang tercantum pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG

1983 Bab 1 pasal 1.3) ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

3.6.4 Beban gempa (EQ)

Analisa terhadap beban gempa ditentukan dengan menggunakan analisa spectrum respons ragam yang disyaratkan sesuai pada SNI 1726-2012 dan Peta *Hazard 2010*.

3.6.5 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726-2012 untuk metode ultimate pasal 4.2.2 dan untuk metode tegangan ijin pasal 4.2.3.

- Kombinasi beban ultimate
 - $1,4D$ (3-8)
 - $1,2D+1,6L+0,5(Lr \text{ atau } R)$ (3-9)
 - $1,2D+1,6(Lr \text{ atau } R)+ (L \text{ atau } 0,5W)$ (3-10)
 - $1,2D+1,0W+L+0,5(Lr \text{ atau } R)$ (3-11)
 - $1,2D+1,0E+L$ (3-12)
 - $0,9D+1,0W$ (3-13)
 - $0,9D+1,0E$ (3-14)
- Kombinasi beban ijin
 - D (3-15)
 - $D+L$ (3-16)
 - $D+ (Lr \text{ atau } R)$ (3-17)
 - $D+0,75L+0,75(Lr \text{ atau } R)$ (3-18)
 - $D+(0,6W \text{ atau } 0,7E)$ (3-19)
 - $D+0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E)+0,75L+0,75(Lr \text{ atau } R)$ (3-20)
 - $0,6D+0,6W$ (3-21)
 - $0,6D+0,7E$ (3-22)

3.7 Pemodelan Struktur Outrigger dan Belt Truss

Pemodelan dilakukan setelah tahapan preliminary design dan perencanaan pembebanan selesai dilakukan.

Setelah mendapatkan disain rencana yang sesuai dengan SNI 2847-2013 lalu dilakukan pemodelan dengan *SAP 2000* dalam bentuk tiga dimensi. Untuk letak outrigger dan belt truss dicoba-coba sampai analisa menunjukkan desain yang paling efisien.

3.8 Analisa Struktur

Perlu dilakukan beberapa control output pada desain yang menggunakan beban gempa respon spectrum sesuai SNI 1726-2012, antara lain control terhadap :

- Analisa Ragam Respons Spektrum (SNI 1726-2012, Pasal 7.9.2)

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metode analisis respons dinamik harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa ragam efektif dalam menghasilkan respons total harus sekurang-kurangnya 90%.

- Simpangan Antar Lantai Tingkat (SNI 1726-2012, Pasal 7.12.1)

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antara lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti yang terdapat dalam SNI 1726-2012, Tabel 16, untuk simpangan antar lantai ijin.

- Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Gaya geser dasar (V_t) dari hasil analisa setidaknya adalah 85% dari gaya geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen. Bila kurang dari 85% V ekuivalen maka gaya harus dikalikan dengan $\{0.85 \times (V/V_t)\}$ sesuai dengan SNI 1726-2012, pasal 7.9.4.1.

3.9 Analisa Gaya Dalam

Gaya dalam adalah gaya – gaya yang muncul pada suatu elemen struktur sebagai akibat dari munculnya beban yang diterima oleh elemen struktur. Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan software dengan kombinasi

pembebanan ultimate (3-18) - (3-14) dan beban ijin (3-19) - (3-26) sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 4.2.2 dan 4.2.3.

3.10 Pendesainan Elemen Struktur

Pendesainan dari elemen struktur pada tugas akhir ini berdasarkan pada SNI 2847-2013, dimana tiap elemen struktur dihitung dan dicek kemampuan penampangnya berdasarkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiap elemennya.

3.10.1 Struktur Pelat Lantai dan Tangga

Untuk struktur pelat lantai dan tangga perhitungan kebutuhan penulangannya dihitung berdasarkan SNI 2847-2013.

3.10.2 Struktur Balok

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5 yaitu persyaratan untuk komponen struktur lentur rangka pemikul momen khusus, dimana untuk tugas akhir ini perhitungan balok lentur direncanakan sesuai pasal tersebut.

3.10.3 Struktur Kolom

Untuk perhitungan desain elemen kolom digunakan program bantu PcAcol, dimana output dari program tersebut memberikan hasil berupa diagram interaksi dari kolom yang dihitung berdasarkan input dari gaya-gaya dalam yang didapatkan dari hasil analisa struktur. Untuk syarat penulangan digunakan persyaratan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5 yaitu untuk komponen struktur lentur rangka pemikul momen khusus.

3.10.4 Struktur Shear Wall (dinding geser) dan Outrigger (balok tinggi)

Shear wall dan *outrigger* dalam perhitungan pendesainan ini dianggap sebagai satu kesatuan yang membentuk rangka kaku, dimana untuk perhitungan

desainnya dilakukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9, tentang dinding struktur khusus dan balok kopel dan SNI 2847-2013 pasal 11.7 ,tentang balok tinggi.

3.10.5 Struktur Belt Truss

Belt Truss merupakan struktur rangka batang baik berbahan baja maupun beton, namun untuk tugas akhir ini digunakan rangka baja yang perencanaannya dilakukan sesuai SNI 1729-2015 dimana dalam rangka batang hanya bekerja gaya tekan dan tarik saja sesuai SNI 1729-2015 pasal E untuk struktur tekan dan SNI 1729-2015 pasal D untuk struktur tarik.

3.11 Perencanaan Sambungan

Untuk sambungan pada tugas akhir ini dikususkan hanya pada sambungan baja saja yaitu rangka batang (*belt truss*) dan sambungan yang direncanakan menggunakan sambungan baut mutu tinggi sesuai yang disyaratkan oleh SNI 1729-2015 pasal J.

3.12 Kontrol Rangka dan Sambungan

Kontrol pada tahap ini hanya untuk rangka batang baja (*belt truss*) saja, yaitu :

- Batang tarik :

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \quad (3-27)$$
- Batang tekan :

$$P_u \leq \phi \cdot R_n \quad (3-28)$$

Dimana :

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK
 P_u = Kekuatan aksial tekan yang diperlukan
 R_n = Kekuatan nominal yang disyaratkan
 P_n = Kekuatan tekan nominal
 ϕ = Faktor ketahanan

Kontrol sambungan pada elemen ini didesain berdasarkan SNI 1729-2015.

3.13 Gambar Perencanaan

Setelah semua tahapan dikerjakan maka hasil perencanaan dan perhitungan dapat dituangkan dalam bentuk gambar teknik menggunakan program bantu Auto Cad.

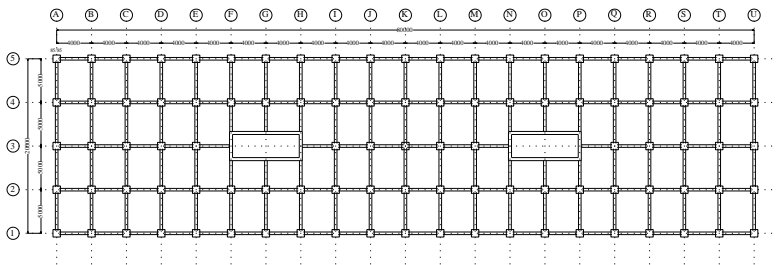
BAB IV *PRELIMINARY DESIGN*

4.1 Data Perencanaan

Perencanaan Gedung Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya menggunakan bahan beton bertulang dan rangka baja dengan data-data sebagai berikut:

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Tipe Bangunan | : Apartemen |
| Lokasi | : Surabaya |
| Ketinggian Lantai | : Lantai 1-2 = 4 m |
| | Lantai 2-40 = 3 m |
| Luas Bangunan | : 20m x 80m |
| Mutu Beton (f'_c) | : 41,5 MPa |
| Mutu Baja (f_y) | : D10 < f_y = 390 MPa |
| | D10 > f_y = 240 MPa |
| Mutu Baja Profil | : BJ-41 |

Denah struktur gedung Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya diperlihatkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Denah Struktur Gedung Apartemen PDH
Surabaya

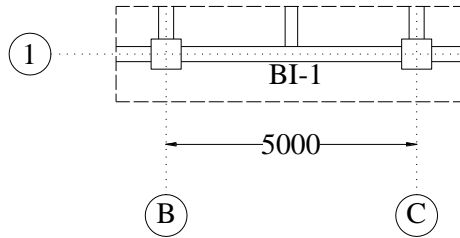
4.2 Preliminary design Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur, dengan desain dimensi balok (tinggi

minimum balok) dan lebar minimum balok sesuai SNI 2847-2013 pasal 9.5(a) dan pasal 21.1.5.3.

4.2.1 Dimensi Balok Induk

- Balok induk melintang tipe (BI-1) yang berada pada gambar 4.1 di As A joint 2-3 dengan bentang (L) = 5 m, seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Balok Induk (BI-1)

$$h_{\min.} = \frac{1}{16} L = \frac{5000}{16} = 31.25 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} h &= h_{\min} \times \left(0.4 + \frac{f_y}{700} \right) \\ &= 31.25 \times \left(0.4 + \frac{390}{700} \right) \\ &= 29.91 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diasumsikan $b = 2/3h$, maka:

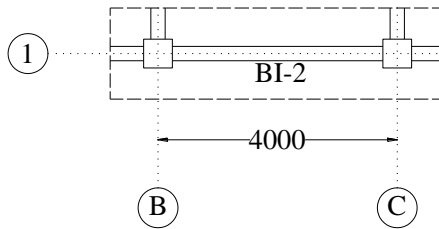
$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 29.91 = 19.94 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Syarat lebar balok (b) tidak boleh lebih kecil dari:

- $0.3h = 0.3 \times 50 = 15 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$
- $25 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$

Jadi dimensi balok induk (BI-1) adalah 30/40 cm

- Balok induk memanjang tipe (BI-2) yang berada pada gambar 4.1 As 2 joint B-C dengan bentang (L) = 4 m, seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Balok Induk (BI-2)

$$h_{\min.} = \frac{1}{16} L = \frac{4000}{16} = 250 \text{ mm}$$

$$h = h_{\min} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$= 250 \times \left(0,4 + \frac{390}{700} \right)$$

$$= 239,3 \text{ mm} \approx 240 \text{ mm}$$

Diasumsikan $b = 2/3h$, maka :

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 239,3 = 159,5 \text{ mm} \approx 160 \text{ mm}$$

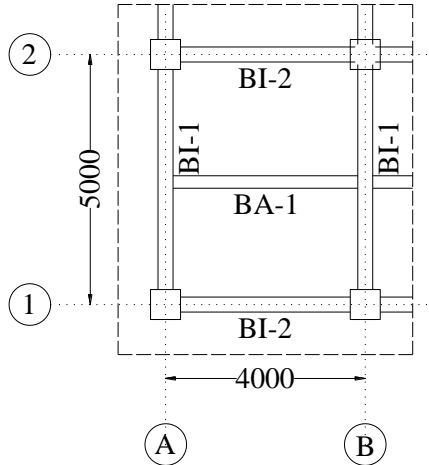
Syarat lebar balok (b) tidak boleh lebih kecil dari:

1. $0,3h = 0,3 \times 240 = 72 \text{ mm} < 160 \text{ mm}$
2. $250 \text{ mm} < 160 \text{ mm}$

Jadi dimensi balok induk (BI-2) adalah 160/240 mm

4.2.2 Dimensi Balok Anak

Balok anak memanjang tipe (BA-1) yang berada pada gambar 4.1 As 2' joint B-C dengan bentang (L) = 4 m, seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Balok Anak (BA-1)

$$h_{\min.} = \frac{1}{21} L = \frac{400}{21} = 19,05 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} h &= h_{\min} \times \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right) \\ &= 19,05 \times \left(0,4 + \frac{390}{700} \right) \\ &= 18,23 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diasumsikan $b = 2/3h$, maka :

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 18,23 = 12,15 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Jadi dimensi balok Anak (BA-1) adalah 20/30 cm

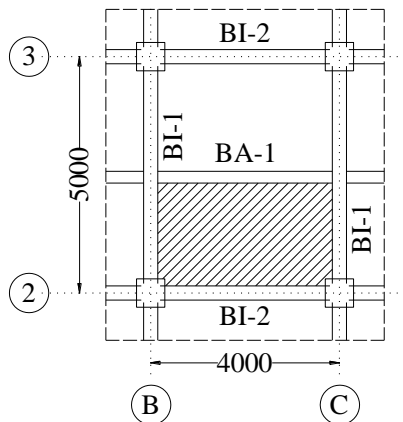
Tabel 4.1 Resume pendimensian balok

| Type Balok | Dimensi (mm) | |
|--------------------|--------------|-----|
| | b | h |
| BI-1 (Balok Induk) | 300 | 400 |
| BI-2 (Balok Induk) | 300 | 400 |
| BA-1 (Balok Anak) | 200 | 300 |
| BP (Balok Lift) | 300 | 400 |

4.3 Preliminary design Pelat Lantai

Desain tebal pelat lantai direncanakan sesuai SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.

Perhitungan tebal pelat tipe S1 (Lantai 1 s/d 39) dengan dimensi seperti pada gambar 4.5.

**Gambar 4.5** Dimensi Plat Lantai Tipe (S1)

- Bentang bersih pelat sumbu panjang (L_n):

$$L_n = 4000 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 370 \text{ cm}$$

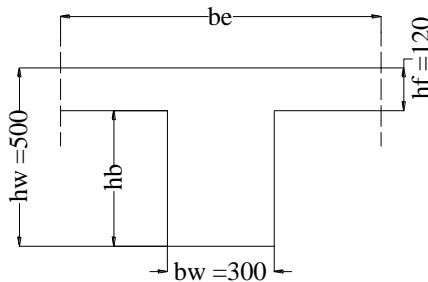
- Bentang bersih pelat sumbu pendek (S_n):

$$S_n = 250 - \left(\frac{30}{2} + \frac{20}{2} \right) = 225 \text{ cm}$$

- $\beta = \frac{Ln}{S_n} = \frac{370}{225} = 1,644 < 2$ (Plat 2 arah)

- Balok (BI-1) As B joint 2-3

Direncanakan pelat lantai dengan tebal, $t = 12$ cm dan dimensi potongan balok (BI-1) As B joint 2-3 seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Balok (BI-1) As B joint 2-3

Menentukan lebar efektif flens (SNI 2847-2013 pasal 13.2.4)

$$\rightarrow be = bw + 2hb < bw + 8hf$$

$$\begin{aligned} \blacksquare be &= bw + 2hb \\ &= 30 + 2(40-12) = 86 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare be &= bw + 8hf \\ &= 30 + 8(12) = 126 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil be terkecil = 86 cm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,578$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,578 \frac{30 \times 40^3}{12} = 252495 \text{ cm}^4$$

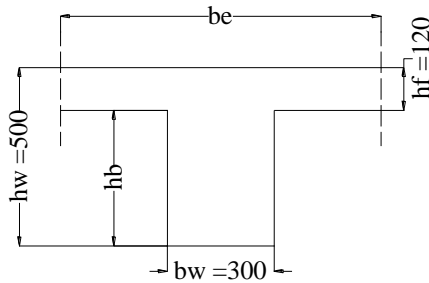
Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = \frac{S_n t^3}{12} = \frac{225 \times 12^3}{12} = 32400 \text{ cm}^4$$

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Plat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{252495}{32400} = 7,793$$

- Balok (BI-2) As 2 joint B-C
Direncanakan pelat lantai dengan tebal, $t = 12 \text{ cm}$ dan dimensi potongan balok (BI-2) As 2 joint B-C seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Balok (BI-2) As 2 joint B-C

Menentukan lebar efektif flens (SNI 2847-2013 pasal 13.2.4)

$$\rightarrow be = bw + 2hb < bw + 8hf$$

$$\begin{aligned} \blacksquare be &= bw + 2hb \\ &= 30 + 2(40-12) = 86 \text{ cm} \\ \blacksquare be &= bw + 8hf \\ &= 30 + 8(12) = 126 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil be terkecil = 86 cm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1 \right) \left(\frac{12}{40} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40} \right) + 4 \left(\frac{12}{40} \right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1 \right) \left(\frac{12}{40} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1 \right) \left(\frac{12}{40} \right)}$$

$$k = 1,578$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,578 \frac{30 \times 40^3}{12} = 252495 \text{ cm}^4$$

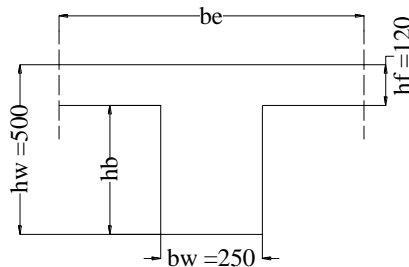
Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = \frac{S_n t^3}{12} = \frac{370 \times 12^3}{12} = 53280 \text{ cm}^4$$

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Plat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{252495}{53280} = 4,739$$

- Balok Anak (BA-1) As 2' joint B-C
Direncanakan pelat lantai dengan tebal, $t = 12$ cm dan dimensi potongan balok (BA-1) As 2' joint B-C seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Balok Anak (BA-1) As 2' joint B-C

Menentukan lebar efektif flens (SNI 2847-2013 pasal 13.2.4)

$$\rightarrow be = bw + 2hb < bw + 8hf$$

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad be &= bw + 2hb \\ &= 20 + 2(30-12) = 56 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad be &= bw + 8hf \\ &= 20 + 8(12) = 116 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil be terkecil = 56 cm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{56}{20} - 1\right) \left(\frac{12}{30}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{30}\right) + 4 \left(\frac{12}{30}\right)^2 + \left(\frac{56}{20} - 1\right) \left(\frac{12}{30}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{56}{20} - 1\right) \left(\frac{12}{30}\right)}$$

$$k = 1,567$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,567 \frac{20 \times 30^3}{12} = 70528,2 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = \frac{S_n t^3}{12} = \frac{370 \times 12^3}{12} = 53280 \text{ cm}^4$$

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Plat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{70528,2}{53280} = 1,324$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai α_m sebagai berikut :

$$\alpha_m = \frac{1}{n} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n)$$

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (7,793 + 7,793 + 4,739 + 1,324) = 5,412$$

Karena $\alpha_m > 2$ dipakai persamaan (3.8), SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 dan tidak boleh kurang dari 9 cm.

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \geq 9 \text{ cm}$$

$$h = \frac{370(0,8 + \frac{240}{1400})}{36 + (9 \times 1,644)} = 7,08 \text{ cm} \approx 9 \text{ cm}$$

➔ Karena nilai h lebih kecil dari 9 cm, maka digunakan tebal pelat lantai 1 s/d 39 tipe S1 adalah 12 cm

Dengan cara yang sama didapatkan resume ketebalan pelat dari masing-masing tipe pelat seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Resume Ketebalan Pelat Lantai

| Tipe | Lantai | Dimensi (cm) | | Tebal (cm) | Ket. |
|------|----------|--------------|-----|---------------|--------|
| | | Ly | Lx | | |
| S1 | 1 s/d 39 | 400 | 250 | 12 | 2 arah |
| S2 | 1 s/d 39 | 400 | 350 | 12 | 2 arah |
| S3 | Atap | 400 | 250 | 12 | 2 arah |
| S4 | Atap | 400 | 350 | 12 | 2 arah |

4.4 Preliminary design Kolom

Berdasarkan denah struktur pada gambar 4.1, desain kolom yang memikul beban terbesar adalah kolom yang memikul plat lantai dengan bentang terbesar yaitu pada kolom As B-2 sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.9.

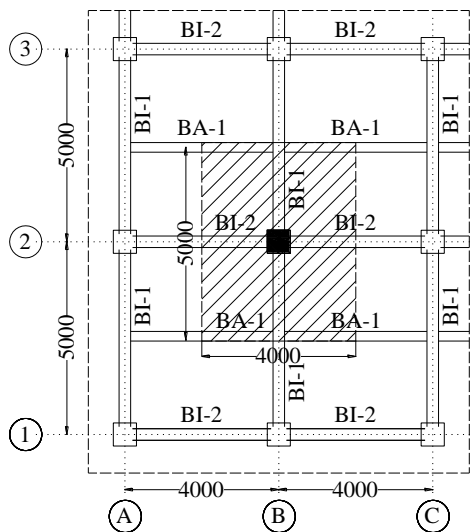
Menurut SNI 2847:2013 kolom harus direncanakan untuk mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap.

Direncanakan :

Tinggi Lt. 1-2 = 4 m

Tinggi Lt. 2-39 = 3 m

Tebal pelat = 120 mm
Dimensi pelat = 500 x 400 cm
Dimensi balok : (BI-1) = 30/40
(BI-2) = 30/40
(BA-1) = 20/30
Mutu beton (f_c') = 41,5 MPa



Gambar 4.9 Daerah pembebanan kolom

Beban mati (DL) :

Untuk beban mati pada lantai ,dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk lantai apartemen dan tabel 4.4 untuk lantai atap.

Tabel 4.3 Beban Mati Pada 1 Lantai

| Jenis Beban | Tipe | Dimensi (m) | | | BJ bahan | Beban |
|-------------|------|-------------|------|---|---------------------|-------|
| | | b | h | L | (T/m ³) | (T) |
| | | | | | | |
| Balok | BI-1 | 0.3 | 0.28 | 4 | 2.4 | 0.806 |

| | | | | | | |
|----------------|------|-----|------|---|-------|--------|
| | BI-2 | 0.3 | 0.28 | 5 | 2.4 | 1.008 |
| | BA-1 | 0.2 | 0.18 | 4 | 2.4 | 0.346 |
| Pelat | S1 | 5 | 0.12 | 4 | 2.4 | 5.760 |
| Spesi (2 cm) | | 5 | 2 | 4 | 0.021 | 0.840 |
| Keramik (1 cm) | | 5 | 1 | 4 | 0.024 | 0.480 |
| Plafond | | 5 | - | 4 | 0.011 | 0.220 |
| Penggantung | | 5 | - | 4 | 0.007 | 0.140 |
| Utilitas | | 5 | - | 4 | 0.04 | 0.800 |
| Total | | | | | | 10,400 |

Tabel 4.4 Beban Mati Pada Lantai Atap

| Jenis Beban | Tipe | Dimensi (m) | | | BJ bahan | Beban |
|--------------|------|-------------|------|---|---------------------|--------|
| | | b | h | L | (T/m ³) | (T) |
| Balok | BI-1 | 0.3 | 0.28 | 4 | 2.4 | 0,806 |
| | BI-2 | 0.3 | 0.28 | 5 | 2.4 | 1.008 |
| | BA-1 | 0.2 | 0.18 | 4 | 2.4 | 0.346 |
| Pelat | S1 | 5 | 0.12 | 4 | 2.4 | 5.760 |
| Aspal (5 cm) | | 5 | 5 | 4 | 0.014 | 1.400 |
| Plafond | | 5 | - | 4 | 0.011 | 0.220 |
| Penggantung | | 5 | - | 4 | 0.007 | 0.140 |
| Utilitas | | 5 | - | 4 | 0.04 | 0.800 |
| Total | | | | | | 10,480 |

Beban hidup (LL) :

Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.8 komponen struktur yang memiliki nilai $K_{LL}A_T \geq 37,16 \text{ m}^2$ diijinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi.

- Beban hidup pada lantai

$$L_o = 1,92 \text{ kN/m}^2 = 195,72 \text{ kg/m}^2$$

$$A_t = 5 \times 4 = 20 \text{ m}^2 \quad (\text{Luas tributari})$$

$$K_{LL} = 4 \quad (\text{Sesuai tabel 4-2 SNI 1726-2013})$$

$$K_{LL}A_t = 4 \times 20 \text{ m}^2 = 80 \text{ m}^2$$

Maka, $80 \text{ m}^2 \geq 37,16 \text{ m}^2$ (Beban hidup dapat diredeuksi)

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_t}} \right) \geq 0,4 L_o$$

$$L = 195,72 \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{80}} \right) \geq (0,4 \times 195,72)$$

$$L = 148,93 \text{ kg/m}^2 \geq 78,29 \text{ kg/m}^2$$

Jadi, beban hidup lantai : $148,93 \times 5 \times 4 = 2978,6 \text{ kg}$

- Beban hidup pada lantai atap

$$L_o = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$A_t = 5 \times 4 = 20 \text{ m}^2 \quad (\text{Luas tributari})$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 1 - 0,011 \times A_t \\ &= 1 - 0,011 \times 20 \text{ m}^2 \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

$$R_2 = 1$$

$$\begin{aligned} L_r &= L_o \times R_1 \times R_2 \\ &= 0,96 \times 0,98 \times 1 \\ &= 0,941 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } 0,58 < L_r < 0,96$$

$$0,58 < 0,94 < 0,96$$

$$\text{Maka nilai, } L_r = 0,94 \text{ kN/m}^2 = 95,902 \text{ kg/m}^2$$

Jadi, beban hidup lantai atap : $95,902 \times 5 \times 4 = 1918 \text{ kg}$

Perencanaan dimensi kolom :

Dimensi kolom direncanakan tiap 5 lantai kecuali pada lantai 36-39 yang hanya terdapat 4 lantai saja.

- Beban akibat berat sendiri kolom :
Direncanakan dimensi kolom Lt. 36-39 = 50 x 50 cm

$$\begin{aligned} W_{\text{kolom}} &= b \times h \times T \times BJ \\ &= 0,5 \times 0,5 \times 3 \times 2,4 \\ &= 1,8 \text{ T} \end{aligned}$$

- Kombinasi pembebanana :

$$\begin{aligned} DL &= (W_{\text{Lantai}} \times n) + W_{\text{Lt.Atap}} + (W_{\text{kolom}} \times n) \\ &= (10,4 \times 3) + 10,48 + (1,8 \times 4) \\ &= 48,88 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LL &= (W_{\text{Lantai}} \times n) \\ &= (2,979 \times 3) \\ &= 8,936 \text{ T} \end{aligned}$$

$$QU = 1,4D = (1,4 \times 48,88) = 68,432 \text{ T}$$

$$\begin{aligned} QU &= 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \\ &= 1,2(48,88) + 1,6(8,936) + 0,5(1,918) \\ &= 73,912 \text{ T} \end{aligned}$$

Diambil kondisi yang paling menentukan,

$$Qu = 73,912 \text{ T} = 73912 \text{ kg}$$

Dimensi, $h = b$

$$A = \frac{P}{0,3xf'_c} = \frac{73912}{0,3 \times 41,5 \times 10} = 593,67 \text{ cm}^2$$

$$A = b^2$$

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{593,67} = 24,365 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Jadi, dipakai dimensi kolom 50 x 50 cm

Dengan cara yang sama didapatkan resume dimensi kolom dari masing-masing tingkat lantai seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Resume Dimensi Kolom

| Tipe Kolom | L | P | A | Hasil | | Pakai | |
|---------------|---|--------|-----------------|-------|-------|-------|----|
| | | | | b | H | b | h |
| | m | T | cm ² | cm | cm | cm | cm |
| K9 (Lt.36-39) | 3 | 73,912 | 593,67 | 24,37 | 24,37 | 50 | 50 |
| K8 (Lt.31-35) | 3 | 172,25 | 1383,5 | 37,2 | 37,2 | 55 | 55 |
| K7 (Lt.30-26) | 3 | 274,03 | 2201,1 | 46,92 | 46,92 | 60 | 60 |
| K6 (Lt.25-21) | 3 | 378,51 | 3040,3 | 55,14 | 55,14 | 65 | 65 |
| K5 (Lt.20-16) | 3 | 485,91 | 3902,9 | 62,47 | 62,47 | 70 | 70 |
| K4 (Lt.15-11) | 3 | 596,44 | 4790,7 | 69,22 | 69,22 | 75 | 75 |
| K3 (Lt.10-6) | 3 | 710,31 | 5705,3 | 75,53 | 75,53 | 80 | 80 |
| K2 (Lt.5-2) | 3 | 829,84 | 6665,4 | 81,64 | 81,64 | 85 | 85 |
| K1 (Lt.1) | 4 | 829,84 | 6665,4 | 81,64 | 81,64 | 85 | 85 |

4.5 Preliminary design Dinding Geser

Menurut SNI 2847-2013 pasal 14.5.3.1, tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang lebih pendek, atau kurang dari 100 mm.

Direncanakan :

Tebal dinding geser = 35 cm
 Panjang bentang = 800 cm
 Tinggi = 300 cm

Syarat :

$$35 \text{ cm} \geq H/25$$

$$35 \text{ cm} \geq 300/25$$

$$35 \text{ cm} \geq 12 \text{ cm}$$

$$35 \text{ cm} \geq L/25$$

$$35 \text{ cm} \geq 800/25$$

$$35 \text{ cm} \geq 32 \text{ cm}$$

Tidak boleh kurang dari 100 mm

Jadi, tebal dinding geser pakai memenuhi syarat SNI 2847-2013 pasal 14.5.3.1 sebesar 35 cm.

4.6 Preliminary design Outrigger

Outrigger dapat digolongkan sebagai balok tinggi bila memenuhi syarat SNI 2847-2013 pasal 10.7.1.(a), dimana bentang bersih (l_n) sama dengan atau kurang dari $4h$.

Direncanakan :

Tebal outrigger = 30 cm

Panjang bentang = 8,5 m

Tinggi outrigger = 3 m

Syarat : $L_n \leq 4h$

8,5 m $\leq 4 \times 3\text{m}$

8,5 m $\leq 12\text{ m}$

Jadi, elemen outrigger memenuhi syarat sebagai balok tinggi dimana ($l_n = 4h$).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

STRUKTUR SEKUNDER

5.1. Perencanaan Pelat

Beban – beban yang bekerja pada pelat disesuaikan dengan SNI 1727-2013 – Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan untuk peraturan yang tidak dimuat dalam SNI 1727 2013 maka digunakan peraturan lama yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung '83 (PPIUG '83). Pelat direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2 yaitu :

- $Q_u = 1,4D$
- $Q_u = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$

5.1.1 Data Perencanaan Pelat

Mutu bahan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain sebagai berikut :

- Mutu beton (f'_c) = 41,5 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa (Ulir)
= 240 MPa (Polos)
- Tebal Pelat (t) = 120 mm
- Selimut beton (d) = 20 mm

5.1.2 Pembebanan Pelat

Pembebanan pelat dibagi berdasarkan beban yang diterima oleh tiap lantai berdasarkan fungsi ruang dari lantai tersebut.

5.1.2.1 Pelat Atap

Beban yang bekerja pada pelat atap terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (q_{DL}) dan beban hidup (q_{LL}).

- Beban mati (q_{DL})
Untuk beban mati (q_{DL}) total per- m^2 pada pelat atap dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Atap

| Jenis Beban | Tebal | BJ bahan | Beban |
|--------------|-------|----------|--------------|
| | | | (kg/m^2) |
| Pelat | 0.12 | 2400 | 288 |
| Aspal (5 cm) | 5 | 14 | 70 |
| Plafond | | | 11 |
| Penggantung | | | 7 |
| Utilitas | | | 40 |
| q_{DL} | | | 416 |

- Beban hidup (q_{LL})

Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.8 beban hidup atap minimum yang didistribusi secara merata, L_o pada Tabel 4-1, diizinkan untuk direduksi bila mana persyaratan dalam Pasal 4.8.2 terpenuhi.

$$L_o = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$A_t = (\text{Luas tributari})$$

$$R_1 = 1 - 0,011 \times A_t$$

$$R_2 = 1$$

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2$$

Syarat , $0,58 < L_r < 0,96$

Jadi bila nilai L_r diantara $0,58 \text{ kN/m}^2$ dan $0,96 \text{ kN/m}^2$ maka beban hidup atap tereduksi (L_r) dapat dipakai.

5.1.2.2 Pelat Lantai

Beban yang bekerja pada pelat lantai terdiri dari 2 jenis beban sama seperti pelat atap, yaitu beban mati (q_{DL}) dan beban hidup (q_{LL}).

- Beban mati (q_{DL})

Untuk beban mati (q_{DL}) total per- m^2 pada pelat lantai dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.2 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Lantai

| Jenis Beban | Tebal | BJ bahan | Beban |
|----------------|-------|----------|--------------|
| | | | (kg/m^2) |
| Pelat | 0.12 | 2400 | 288 |
| Spesi (2 cm) | 2 | 21 | 42 |
| Keramik (1 cm) | 1 | 24 | 24 |
| Plafond | | | 11 |
| Penggantung | | | 7 |
| Utilitas | | | 40 |
| q_{DL} | | | 412 |

- Beban hidup (q_{LL})
Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.7.2 komponen struktur yang memiliki nilai $K_{LL}A_T \geq 37,16 m^2$ diijinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi.

$$L_o = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$A_t = (\text{Luas tributari})$$

$$K_{LL} = 1 \text{ (Sesuai tabel 4-2 SNI 1726-2013)}$$

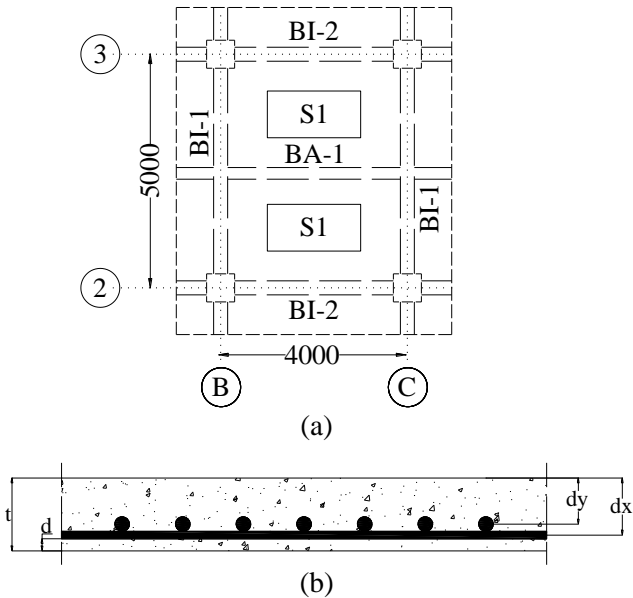
Syarat , $K_{LL}A_t \geq 37,16 m^2$ Bila terpenuhi maka beban hidup dapat diredeuksi dengan rumus berikut :

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \geq 0,4L_o$$

5.1.3 Penulangan Pelat

Penulangan pelat direncanakan sesuai SNI 1727-2013, dimana dalam perencanaan perhitungan kebutuhan tulangan pelat ini akan disajikan satu contoh perhitungan untuk pelat tipe S1, dan untuk tipe pelat yang lain akan diberikan dalam bentuk resume kebutuhan tulangan pelat yang berbentuk tabel 5.3.

- Data Perencanaan
Dimensi pelat lantai tipe S1 seperti ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Dimensi Pelat Lantai Tipe S1

- Dimensi pelat = 2,5 x 4 m
- Tebal pelat (t) = 120 mm
- Sel. beton (d) = 20 mm
- D Tul. Lentur = 12 mm ($A_s = 113,1 \text{ mm}^2$)
- \varnothing Tul. Pembagi = 8 mm ($A_s = 50,3 \text{ mm}^2$)
- $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7}$
- $= 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7}$
- $= 0,754$

→ Tebal manfaat :

$$\begin{aligned} dx &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Sel. beton} - \frac{1}{2} D \text{ Tulangan} \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2}(12) \\ &= 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Sel. beton} - D \text{ Tul.} - \frac{1}{2} D \text{ Tul.} \\ &= 120 - 20 - 12 - \frac{1}{2}(12) \\ &= 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

→ Jenis pelat = Pelat dua arah (sesua preliminary desain $\alpha_m = 1,663 < 2$)

- Kombinasi Pembebanan

Beban mati (q_{DL}) = 412 kg/m²

Beban hidup (q_{LL}) :

$$Lo = 1,92 \text{ kN/m}^2 = 195,72 \text{ kg/m}^2$$

$$At = 2,5 \times 4 = 10 \text{ m}^2$$

$$K_{LL} = 1 \quad (\text{Sesuai tabel 4-2 SNI 1726-2013})$$

$$K_{LL}At = 1 \times 10 = 10 \text{ m}^2$$

Maka, $10 \text{ m}^2 < 37,16 \text{ m}^2$ (Beban hidup tidak boleh diredeuksi)

Jadi, beban hidup lantai : $1,92 \text{ kN/m}^2 = 195,72 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned} QU &= 1,4D \\ &= (1,4 \times 412) \\ &= 576,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QU &= 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \\ &= 1,2(412) + 1,6(195,72) \\ &= 729,26 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Diambil kondisi yang paling menentukan, $Qu = 729,26 \text{ kg/m}^2$

- Momen pada Pelat

Momen rencana pada pelat dihitung menggunakan metode desain langsung sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 13.6. Adapun beberapa syarat yang harus terpenuhi terlebih dahulu sebelum menghitung momen rencana dengan metode desain langsung, seperti berikut :

→ Rasio panjang sumbu pelat :

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4}{2,5} = 1,6 \leq 2 \quad (\text{OK})$$

→ Syarat beban :

$$\begin{aligned} q_{LL} \text{ kg/m}^2 &\leq 2q_{DL} \text{ kg/m}^2 \\ 195,72 \text{ kg/m}^2 &\leq 2 \times 412 \text{ kg/m}^2 \\ 195,72 \text{ kg/m}^2 &\leq 824 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

→ Untuk panel pelat dengan balok sebagai tumpuan:

$$\alpha_1 = 16,485 \text{ (Preliminary desain pelat)}$$

$$\alpha_2 = 9,914 \text{ (Preliminary desain pelat)}$$

$$0,2 \leq \frac{\alpha_1 x l_2^2}{\alpha_2 x l_1^2} \leq 5,0$$

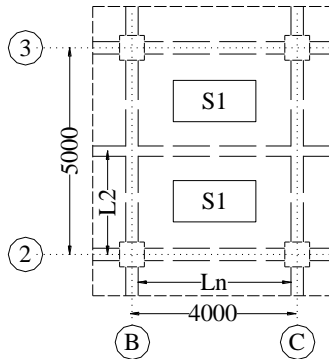
$$0,2 \leq \frac{16,485 x 4^2}{9,914 x 2,5^2} \leq 5,0$$

$$0,2 \leq 4,26 \leq 5,0 \quad (\text{OK})$$

Jadi, setelah beberapa syarat diatas terpenuhi maka perhitungan momen rencana dengan menggunakan metode desain langsung dapat digunakan.

Momen rencana pelat arah sb.X

Untuk perhitungan momen rencana pada arah sumbu x terlebih dahulu perlu untuk menentukan nilai dari l_2 dan l_n yang terdapat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Nilai l_2 dan l_n pada Denah Lantai untuk Momen Arah sb.X

$$l_2 = 2,5 \text{ m}$$

$$l_n = 3,7 \text{ m (Bentang bersih)}$$

$$M_o = \frac{q_U \times l_2 \times l_n^2}{8} \quad (\text{Pasal 13.6.2.2})$$

$$= \frac{729,26 \times 2,5 \times 3,7^2}{8}$$

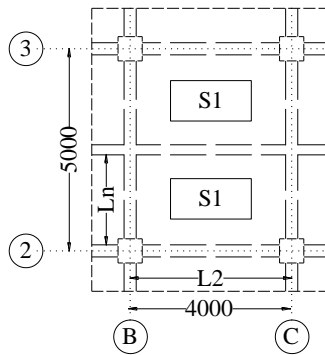
$$= 3119,9 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{tumpuan}} &= 0,7 \times M_o & (\text{Pasal 13.6.3.3}) \\ &= 0,7 \times 3119,9 \text{ kg.m} \\ &= 2183,9 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= 0,57 \times M_o & (\text{Pasal 13.6.3.3}) \\ &= 0,57 \times 3119,9 \text{ kg.m} \\ &= 1778,3 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen rencana pelat arah sb.Y

Untuk perhitungan momen rencana pada arah sumbu y terlebih dahulu perlu untuk menentukan nilai dari l_2 dan l_n yang terdapat pada gambar 5.3.



Gambar 5.3 Nilai l_2 dan l_n pada Denah Lantai untuk Momen Arah sb.Y

$$l_2 = 4 \text{ m}$$

$$l_n = 2,225 \text{ m (Bentang bersih)}$$

$$\begin{aligned} M_o &= \frac{q_U \times l_2 \times l_n^2}{8} && \text{(Pasal 13.6.2.2)} \\ &= \frac{729,26 \times 4 \times 2,225^2}{8} \\ &= 1805,2 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{tumpuan}} &= 0,7 \times M_o && \text{(Pasal 13.6.3.3)} \\ &= 0,7 \times 1805,2 \text{ kg.m} \\ &= 1263,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= 0,57 \times M_o && \text{(Pasal 13.6.3.3)} \\ &= 0,57 \times 1805,2 \text{ kg.m} \\ &= 1028,9 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Perhitungan Kebutuhan Penulangan Pelat
Kebutuhan penulangan pelat ditinjau tiap per-1m (1000 mm) pelat beton.

Tumpuan X :

- Menghitung kebutuhan tulangan awal
 Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

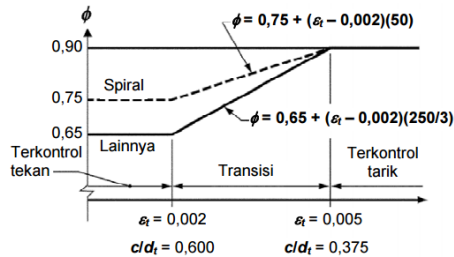
$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\ &= \frac{2183,9 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 94^2} \\ &= 2,75 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\ &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\ &= 11,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 2,75}{390}} \right) \\ &= 0,0073 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0073 \times 1000 \times 94 \\ &= 689,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol kondisi penampang
 Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.4.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3))]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3))]$

Gambar 5.4 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b}$$

$$= \frac{689,9 x 390}{0,85 x 41.5 x 1000}$$

$$= 7,63 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,63}{0,754} = 10,12 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 94 = 35,25 \text{ mm}$$

Maka, $10,12 \text{ mm} \leq 35,25 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{2183,9 \times 10^4}{0,9 \times 390 \times \left(94 - \frac{7,63}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 689,9 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{b \times d_x} = \frac{689,9}{1000 \times 94} = 0,0073$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\text{Dimana, } \rho_{\text{Min.}} \leq \rho_{\text{Perlu}} \\ 0,0018 \leq 0,0073$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho_{\text{Perlu}} = 0,0073$

→ Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times h_f = 360 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times h_f = 240 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 240 mm.

→ Jarak tulangan pakai

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{689,9}{113,1} = 6,1 \approx 7$$

buah

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n - 1} = \frac{1000}{7 - 1} = 166,7 \text{ mm}$$

$$\approx 150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1m :

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 150}{150} = 7,67 \approx 8 \text{ buah}$$

→ Kontrol As tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times A_s \text{ tulangan} \\ &= 8 \times 113,1 \\ &= 904,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ Pasang} &> A_s \text{ Perlu} \\ 904,8 \text{ mm}^2 &> 689,9 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D12-150 untuk tumpuan X pelat beton tipe S1.

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan Ø8 mm dengan mutu tulangan $f_y = 240 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} A_s \text{ Min.} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 94 \\ &= 131,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_s \text{ Min.}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{131,6}{50,3} \\ &= 2,62 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5xh_f = 600 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$\begin{aligned} S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} \\ &\approx 500 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK}) \end{aligned}$$

Maka digunakan $S_{Pakai} = 300 \text{ mm}$

$$n_{pasang} = \frac{1000 + S_{Pakai}}{S_{Pakai}}$$

$$= \frac{1000 + 300}{300} = 4 \text{ buah}$$

Kontrol As tulangan :

$$AS_{Pasang} = n_{pasang} \times AS_{tulangan}$$

$$= 4 \times 50,3$$

$$= 217,8 \text{ mm}^2$$

Maka, $AS_{Pasang} > AS_{Min.}$

$$217,8 \text{ mm}^2 > 131,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan Ø8-300 untuk tulangan pembagi tumpuan X pelat beton tipe S1.

Lapangan X :

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d_x^2}$$

$$= \frac{1778,3 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 94^2}$$

$$= 2,24 \text{ N/mm}^2$$

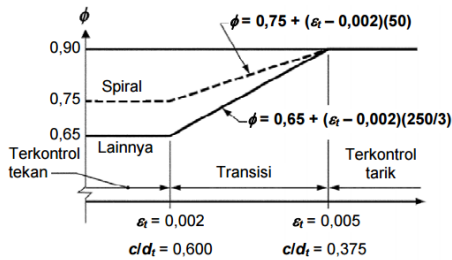
$$m = \frac{f_y}{0,85 x f'_c}$$

$$= \frac{390}{0,85 \times 41,5}$$

$$= 11,06$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmxRn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x11,06x2,24}{390}} \right) \\
 &= 0,0059 \\
 A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\
 &= 0,0059 \times 1000 \times 94 \\
 &= 557,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang
Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.4.



Interpolasi pada c/d_t :
Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3))]$
Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3))]$

Gambar 5.5 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{557,2 x 390}{0,85 x 41.5 x 1000} \\
 &= 6,16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,16}{0,754} = 8,18 \text{ mm}$$

$$0,375d_t = 0,375 \times 94 = 35,25 \text{ mm}$$

Maka, $8,18 \text{ mm} \leq 35,25 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_{yx} \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{1778,3 \times 10^4}{0,9 \times 390 \times \left(94 - \frac{6,16}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 557,2 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{b \times d_x} = \frac{557,2}{1000 \times 94} = 0,0059$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\text{Dimana, } \rho_{\text{Min.}} \leq \rho_{\text{Perlu}} \\ 0,0018 \leq 0,0059$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho_{\text{Perlu}} = 0,0059$

→ Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times h_f = 360 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times h_f = 240 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 240 mm.

→ Jarak tulangan pakai

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{As_{\text{Perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{557,2}{113,1} = 4,93 \approx 5$$

buah

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n - 1} = \frac{1000}{5 - 1} = 250 \text{ mm}$$

$$\approx 250 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1m :

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 150}{150} = 7,67 \approx 8 \text{ buah}$$

→ Kontrol As tulangan

$$As_{\text{Pasang}} = n_{\text{pasang}} \times As_{\text{tulangan}}$$

$$= 8 \times 113,1$$

$$= 904,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka, } As_{\text{Pasang}} > As_{\text{Perlu}}$$

$$904,8 \text{ mm}^2 > 557,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan D12-150 untuk lapangan X pelat beton tipe S1.

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan Ø8 mm dengan mutu tulangan $f_y = 240 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$As_{\text{Min.}} = \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0,0014 \times 1000 \times 94$$

$$= 131,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s_{\text{Min.}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} \\
 &= \frac{131,6}{50,3} \\
 &= 2,62 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5xhf = 600 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} \\
 &\approx 500 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{pasang}} &= \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{1000 + 300}{300} = 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol As tulangan :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{Pasang}}} &= n_{\text{pasang}} \times A_{s_{\text{tulangan}}} \\
 &= 4 \times 50,3 \\
 &= 217,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, $A_{s_{\text{Pasang}}} > A_{s_{\text{Min.}}}$

$$217,8 \text{ mm}^2 > 131,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan Ø8-300 untuk tulangan pembagi lapangan X pelat beton tipe S1.

Tumpuan Y :

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

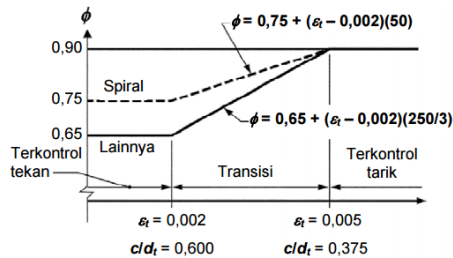
$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b x d_y^2} \\
 &= \frac{1263,6 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 82^2} \\
 &= 2,09 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\
 &= 11,06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 2,09}{390}} \right) \\
 &= 0,0055
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_y \\
 &= 0,0055 \times 1000 \times 82 \\
 &= 452,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang
 Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.4.



Interpolasi pada c/d_t : Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$

Gambar 5.6 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{452,9 x 390}{0,85 x 41,5 x 1000} \\
 &= 5,01 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,01}{0,754} = 6,644 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 82 = 30,75 \text{ mm}$$

Maka, $6,644 \text{ mm} \leq 30,75 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_y - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{1263,6 \times 10^4}{0,9 \times 390 \times \left(82 - \frac{5,01}{2}\right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 452,9 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \times d_y} = \frac{452,9}{1000 \times 82} = 0,0055$$

- Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\text{Dimana, } \rho_{\text{Min.}} \leq \rho_{\text{Perlu}} \\ 0,0018 \leq 0,0055$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho_{\text{Perlu}} = 0,0073$

- Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times h_f = 360 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times h_f = 240 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 240 mm.

- Jarak tulangan pakai

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{452,9}{113,1} = 4,004 \approx$$

5 buah

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n - 1} = \frac{1000}{5 - 1} = 250 \text{ mm}$$

$$\approx 250 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{Pakai}} = 150 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1m :

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{Pakai}}}{S_{\text{Pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 150}{150} = 7,67 \approx 8 \text{ buah}$$

→ Kontrol As tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times A_s \text{ tulangan} \\ &= 8 \times 113,1 \\ &= 904,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ Pasang} &> A_s \text{ Perlu} \\ 904,8 \text{ mm}^2 &> 452,9 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D12-150 untuk tumpuan Y pelat beton tipe S1.

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan Ø8 mm dengan mutu tulangan $f_y = 240 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} A_s \text{ Min.} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_y \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 82 \\ &= 114,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_s \text{ Min.}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{114,8}{50,3} \\ &= 2,28 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5x_{hf} = 600 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm}$$

$$\approx 500 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{pasang}} &= \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{1000 + 300}{300} = 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol As tulangan :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times A_s \text{ tulangan} \\
 &= 4 \times 50,3 \\
 &= 217,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } A_s \text{ Pasang} &> A_s \text{ Min.} \\
 217,8 \text{ mm}^2 &> 114,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan Ø8-300 untuk tulangan pembagi tumpuan Y pelat beton tipe S1.

Lapangan Y :

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal
 Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_y^2} \\
 &= \frac{1028,9 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 82^2} \\
 &= 1,7 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\
 &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\
 &= 11,06
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right)$$

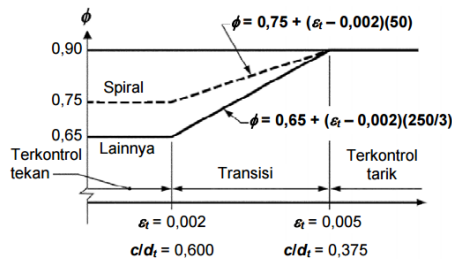
$$= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 1,7}{390}} \right)$$

$$= 0,0045$$

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_y \\ &= 0,0045 \times 1000 \times 82 \\ &= 366,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.4.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$

Gambar 5.7 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\ &= \frac{366,6 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 1000} \\ &= 4,053 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,053}{0,754} = 5,38 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 82 = 30,75 \text{ mm}$$

Maka, $5,38 \text{ mm} \leq 30,75 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_y - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{1028,9 \times 10^4}{0,9 \times 390 \times \left(82 - \frac{4,053}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 366,6 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{b x d_y} = \frac{366,6}{1000 \times 82} = 0,0045$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } \rho_{\text{Min.}} &\leq \rho_{\text{Perlu}} \\ 0,0018 &\leq 0,0045 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho_{\text{Perlu}} = 0,0045$

→ Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times hf = 360 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times hf = 240 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 240 mm.

→ Jarak tulangan pakai

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{366,6}{113,1} = 3,24 \approx 4$$

buah

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{4-1} = 333 \text{ mm}$$

$$\approx 300 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{Pakai}} = 150 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1 m :

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{Pakai}}}{S_{\text{Pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 150}{150} = 7,67 \approx 8 \text{ buah}$$

→ Kontrol As tulangan

$$As_{\text{Pasang}} = n_{\text{pasang}} \times As_{\text{tulangan}}$$

$$= 8 \times 113,1$$

$$= 904,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka, } As_{\text{Pasang}} > As_{\text{Perlu}}$$

$$904,8 \text{ mm}^2 > 366,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan D12-150 untuk lapangan Y pelat beton tipe S1.

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan $\emptyset 8 \text{ mm}$ dengan mutu tulangan $f_y = 240 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$As_{\text{Min.}} = \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_y$$

$$= 0,0014 \times 1000 \times 82$$

$$= 114,8 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{As_{\text{Min.}}}{As_{\text{tulangan}}}$$

$$= \frac{114,8}{50,3}$$

$$= 2,28 \approx 3 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5xhf = 600 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm}$$

$$\approx 500 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{Pakai}} = 300 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} n_{\text{pasang}} &= \frac{1000 + S_{\text{Pakai}}}{S_{\text{Pakai}}} \\ &= \frac{1000 + 300}{300} = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol As tulangan :

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{Pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{As}_{\text{tulangan}} \\ &= 4 \times 50,3 \\ &= 217,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, $\text{As}_{\text{Pasang}} > \text{As}_{\text{Min.}}$

$$217,8 \text{ mm}^2 > 114,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan Ø8-300 untuk tulangan pembagi lapangan Y pelat beton tipe S1.

- Kontrol Jarak Tulangan Terhadap Retak
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, S, tidak boleh melebihi yang diberikan oleh SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5C_c$$

Tetapi tidak lebih besar dari,

$$S = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 Cc &= \text{Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik} \\
 &= \text{Cover} + \varnothing \text{ tulangan} \\
 &= 20 \text{ mm} + 12 \text{ mm} \\
 &= 32 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= 2/3 \times f_y \\
 &= 2/3 \times 390 \text{ Mpa} \\
 &= 260 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 S &= 380 \left(\frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 32) \\
 &= 329 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 300 \left(\frac{280}{260} \right) \\
 &= 323 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, Plat lantai tipe S1 memenuhi syarat jarak tulangan terhadap kontrol retak.

- Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5.(b), lendutan izin maksimum untuk lantai adalah $L/360$.

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{250}{360} = 0,69 \text{ cm}$$

Maka, lendutan yang terjadi pada pelat yaitu :

$$\begin{aligned}
 q_{ijin} &= 1D + 1L \\
 &= (1 \times 412) + (1 \times 195,72) \\
 &= 607,72 \text{ kg/m}^2 = 6,08 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_o = \frac{q_U \cdot x l_2 \cdot x l_n^2}{8} \quad (\text{Pasal 13.6.2.2})$$

$$= \frac{607,72 \times 2,5 \times 3,7^2}{8}$$

$$= 2599,9 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{tumpuan}} &= 0,7 \times M_o && (\text{Pasal 13.6.3.3}) \\ &= 0,7 \times 2599,9 \text{ kg.m} \\ &= 1819,9 \text{ kg.m} = 181993 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{41,5} \\ &= 30278 \text{ N/mm}^2 = 302776 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 12^3 = 14400 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{Pasal 8.6.1})$$

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'c} && (\text{Pasal 9.5.2.3}) \\ &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{41,5} \\ &= 12,63 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$y_t = \frac{t}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{12,63 \times 14400}{6} = 30313,86 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left(\frac{b \cdot y_t^3}{3} \right) + (A s_{\text{pasang}} \cdot y_t^2) \\ &= \left(\frac{100 \cdot 6^3}{3} \right) + (6,899 \cdot 6^2) \\ &= 7448,4 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$I_{\text{eff}} = \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 \right] I_{cr}$$

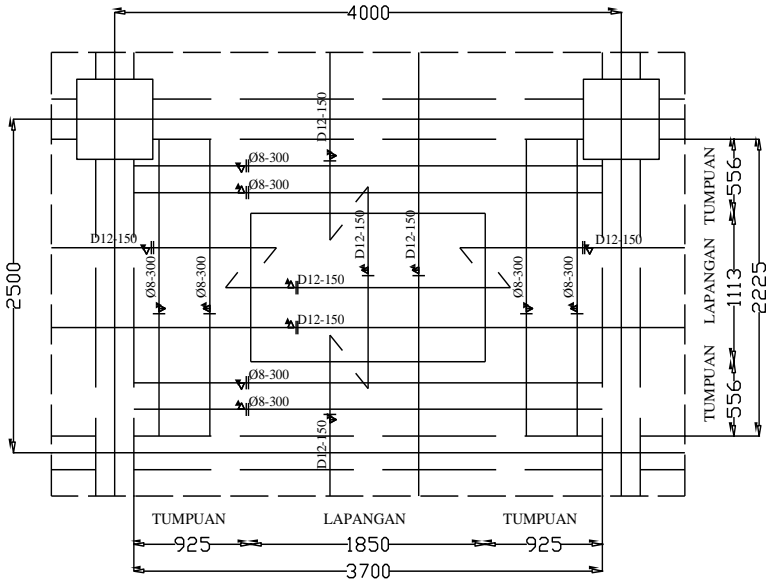
$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{30313,9}{181993} \right)^3 14400 + \left[1 - \left(\frac{30313,9}{181993} \right)^3 \right] I_{cr} \\
&= 7480,5 \text{ cm}^4 \\
\delta &= \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{q_{ijin} \cdot L^4}{EI} \right) \\
&= \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{6,08 \times 250^4}{302776 \times 7480,5} \right) \\
&= 0,136 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Syarat, lendutan yang terjadi tidak boleh kurang dari sama dengan lendutan ijin, maka :

$$\begin{aligned}
\delta \text{ cm} &< \delta_{ijin} \text{ cm} \\
0,136 \text{ cm} &< 0,69 \text{ cm} \quad (\text{OK})
\end{aligned}$$

Jadi pelat lantai tipe S1 memenuhi dalam syarat lendutan, dimana lendutan yang terjadi kurang dari lendutan ijin.

- Tulangan Terpasang
 - Arah sumbu X
 - Tumpuan = D12 - 150
 - Lapangan = D12 - 150
 - Pembagi = $\emptyset 8 - 300$
 - Arah sumbu Y
 - Tumpuan = D12 - 150
 - Lapangan = D12 - 150
 - Pembagi = $\emptyset 8 - 300$
- Sketsa Penulangan Pelat Lantai
Gambar penulangan pelat lantai tipe S1 ditunjukkan pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 Gambar Penulangan Pelat Lantai Tipe S1

5.1.4 Resume Penulangan Pelat

Dengan cara yang sama didapatkan resume penulangan pelat dari masing-masing tipe pelat seperti pada tabel 4.5.

Tabel 5.3 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe pelat

| Tipe | Ly | Lx | q _{ult} | Ket. | Momen | AS _{perlu} | AS _{pasang} | Tul. Pasang | Tul. Susut |
|------|-----|-----|----------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|-------------|------------|
| | (m) | (m) | (kg/m ²) | | (kg.m) | (mm ²) | (mm ²) | | |
| S1 | 4 | 2,5 | 729,26 | Mtx (-) | 2183.91 | 689.90 | 904.78 | D12-150 | Ø8-300 |
| | | | | Mty (-) | 1263.61 | 452.85 | 904.78 | D12-150 | Ø8-300 |
| | | | | MIx (+) | 1778.33 | 557.25 | 904.78 | D12-150 | |
| | | | | Mly (+) | 1028.94 | 366.55 | 904.78 | D12-150 | |
| S2 | 4 | 3,5 | 729,26 | Mtx (-) | 3057.48 | 983.57 | 1017.88 | D12-125 | Ø8-250 |
| | | | | Mty (-) | 2532.64 | 939.43 | 1017.88 | D12-125 | Ø8-250 |
| | | | | MIx (+) | 2489.66 | 791.41 | 1017.88 | D12-125 | |
| | | | | Mly (+) | 2062.29 | 754.94 | 1017.88 | D12-125 | |
| S3 | 4 | 2,5 | 603.66 | Mtx (-) | 1807.79 | 566.81 | 678.58 | D12-200 | Ø8-400 |
| | | | | Mty (-) | 1045.98 | 372.78 | 678.58 | D12-200 | Ø8-400 |
| | | | | MIx (+) | 1472.06 | 458.52 | 678.58 | D12-200 | |
| | | | | Mly (+) | 851.73 | 302.08 | 678.58 | D12-200 | |
| S4 | 4 | 3,5 | 603.66 | Mtx (-) | 2530.90 | 805.21 | 1017.88 | D12-140 | Ø8-280 |
| | | | | Mty (-) | 2096.45 | 768.17 | 1017.88 | D12-140 | Ø8-280 |
| | | | | MIx (+) | 2060.88 | 649.42 | 1017.88 | D12-140 | |
| | | | | Mly (+) | 1707.11 | 618.94 | 1017.88 | D12-140 | |

5.2. Perencanaan Struktur Tangga

Perencanaan tangga pada Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya ini terdapat di salah satu shearwall pada bangunan. Untuk mengetahui gaya dalam pada struktur tangga maka digunakan cara perhitungan mekanika teknik dan dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes).

5.2.1 Data Perencanaan Tangga

Mutu bahan dan spesifikasi ukuran yang digunakan untuk perencanaan struktur tangga sesuai dengan preliminary desain sebagai berikut :

- Mutu beton (f'_c) = 41,5 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa (Ulir)
= 240 MPa (Polos)
- Selimut beton (d) = 20 mm
- Lebar injakan (i) = 350 mm
- Tanjakan (t) = 250 mm
- Tebal pelat tangga = 150 mm
- Tebak pelat bordes = 150 mm
- Lebar bordes = 2600 mm
- Lebar tangga = 1200 mm
- Tinggi anatar lantai = 3000 mm
- Jumlah tanjakan = $\left(\frac{3000}{250} \right) = 12$ buah
- Jumlah injakan = $(12 - 1) = 11$ buah
- Syarat desain tangga :

$$60 \leq (2t + i) \leq 65$$

$$60 \leq (2.25 + 12) \leq 65$$

$$60 \leq 62 \leq 65 \quad (\text{OKE})$$

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ \rightarrow \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{250}{350} \right) = 35,54^\circ$$

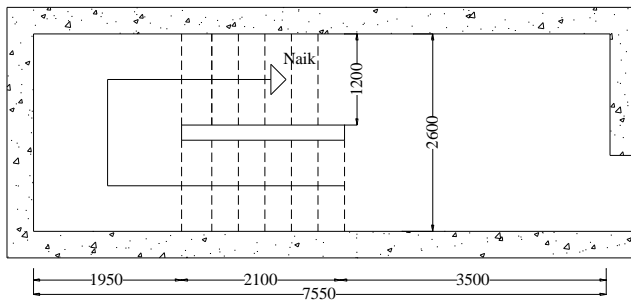
$$25^\circ \leq 35,54^\circ \leq 40^\circ \text{ (OKE)}$$

- Tebal pelat rata-rata :

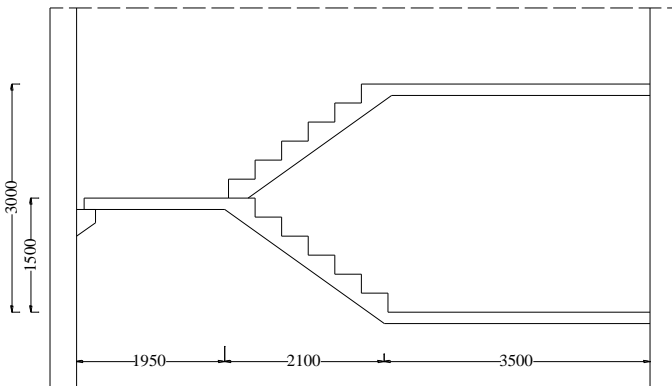
$$T = 15 + \left(\frac{i}{2}\right) \times \sin \alpha$$

$$= 15 + \left(\frac{35}{2}\right) \times \sin 35,54 = 18,53 \text{ cm}$$

Gambar rencana struktur tangga dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan 5.10.



Gambar 5.9 Denah Struktur Tangga



Gambar 5.10 Tampak Samping Struktur Tangga

5.2.2 Pembebanan Tangga dan Bordes

Pembebanan pada struktur tangga dibagi menjadi dua antara lain beban pada pelat tangga dan beban pada pelat bordes yang masing-masing element tersebut memikul berat sendiri dan beban hidup.

5.2.2.1 Pembebanan Tangga

- Beban Mati (q_{DL})
Untuk beban mati (q_{DL}) total per- m^2 pada pelat tangga dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Beban Mati per- m^2 pada Pelat Tangga

| Jenis Beban | Tebal | BJ bahan | Beban |
|----------------|-------------------------|----------|--------------|
| | | | (kg/m^2) |
| Pelat Tangga | $\frac{0.15}{\cos(36)}$ | 2400 | 445 |
| Spesi (2 cm) | 2 | 21 | 42 |
| Keramik (1 cm) | 1 | 24 | 24 |
| Pegangan | | | 10 |
| q_{DL} | | | 521 |

- Beban Hidup (q_{LL})
Menurut SNI 1727-2013 tabel 4-1 beban hidup terdistribusi merata L_0 pada jalur penyelamatan (tangga dan bordes) adalah $4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,3 \text{ kg/m}^2$.
- Kombinasi Pembebanan

$$q_U = 1,2D + 1,6L$$

$$= (1,2 \times 521) + (1,6 \times 488,3)$$

$$= 1211 \text{ kg/m}^2$$

$$q_2 = 1,2 \times 1211 = 1453 \text{ kg/m}^2 = 1,453 \text{ T/m}^2$$

5.2.2.2 Pembebanan Bordes

- Beban Mati (q_{DL})
Untuk beban mati (q_{DL}) total per- m^2 pada pelat bordes dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Beban Mati per-m2 pada Pelat Bordes

| Jenis Beban | Tebal | BJ bahan | Beban |
|----------------|-------|----------|----------------------|
| | | | (kg/m ²) |
| Pelat Bordes | 0.15 | 2400 | 360 |
| Spesi (2 cm) | 2 | 21 | 42 |
| Keramik (1 cm) | 1 | 24 | 24 |
| q_{DL} | | | 426 |

- Beban Hidup (q_{LL})
Menurut SNI 1727-2013 tabel 4-1 beban hidup terdistribusi merata L_0 pada jalur penyelamatan (tangga dan bordes) adalah $4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,3 \text{ kg/m}^2$.
- Kombinasi Pembebanan

$$q_U = 1,2D + 1,6L$$

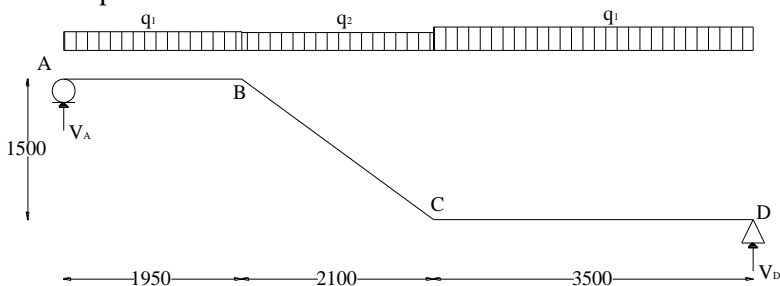
$$= (1,2 \times 426) + (1,6 \times 488,3)$$

$$= 1097 \text{ kg/m}^2$$

$$q_l = \left(\frac{2,6}{2} \right) \times 1097 = 1426 \text{ kg/m}' = 1,426 \text{ T/m}'$$

5.2.3 Perhitungan Gaya Dalam

Perhitungan gaya -gaya yang bekerja pada struktur tangga menggunakan mekanika teknik statis tentu dengan permisalan sendi rol.

**Gambar 5.11** Pemodelan Struktur Tangga

Berdasarkan gambar 5.11 dilakukan perhitungan reaksi dan gaya dalam yang bekerja pada struktur tangga tersebut.

$$\Sigma M_D = 0$$

$$(V_A \times 7,55) - (q_1 \times 1,95 \times 6,575) - (q_2 \times 2,1 \times 4,55) - (q_1 \times 3,5 \times 1,75) = 0$$

$$(V_A \times 7,55) - (18,29) - (13,89) - (8,74) = 0$$

$$V_A = \left(\frac{40,91}{7,55} \right) = 5,418 \text{ T}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-(V_D \times 7,55) + (q_1 \times 3,5 \times 5,8) + (q_2 \times 2,1 \times 3) + (q_1 \times 1,95 \times 0,975) = 0$$

$$-(V_D \times 7,55) + (28,95) + (9,156) + (2,712) = 0$$

$$V_D = \left(\frac{40,82}{7,55} \right) = 5,407 \text{ T}$$

Kontrol Keseimbangan Gaya

$$V_A + V_D - (q_1 \times 1,95) - (q_2 \times 2,1) - (q_1 \times 3,5) = 0$$

$$5,418 + 5,407 - 2,781 - 3,052 - 4,992 = 0 \quad (\text{OKE})$$

Perhitungan Gaya Lintang

$$D_{Y1} = V_A - (q_1 \times y_1)$$

$$y_1 = 0 \text{ m} \rightarrow D_A = 5,418 - (1,43 \times 0) = 5,418 \text{ T}$$

$$y_1 = 1,95 \text{ m} \rightarrow D_B = 5,418 - (1,43 \times 1,95) = 2,637 \text{ T}$$

$$D_{Y2} = V_A - (q_1 \times 1,95) - (q_2 \times y_2)$$

$$y_2 = 0 \text{ m} \rightarrow D_B = 5,418 - (1,43 \times 1,95) - (1,45 \times 0) = 2,637 \text{ T}$$

$$y_2 = 2,1 \text{ m} \rightarrow D_C = 5,418 - (1,43 \times 1,95) - (1,45 \times 2,1) = -0,415 \text{ T}$$

Lokasi Terjadi Momen Maksimum pada Tangga

Pada $D_{Y2} = 0$, terjadi momen maksimal.

$$D_{Y2} = V_A - (q_1 \times 1,95) - (q_2 \times y_2)$$

$$0 = 5,418 - (1,43 \times 1,95) - (1,45 \times y_2)$$

$$y_2 = \left(\frac{2,637}{1,45} \right) = 1,815 \text{ m (dari B terjadi Momen Max.)}$$

$$D_{Y3} = (q_1 \times y_3) - V_D$$

$$y_3 = 0 \text{ m} \rightarrow D_D = (1,43 \times 0) - 5,407 = -5,407 \text{ T}$$

$$y_3 = 3,5 \text{ m} \rightarrow D_C = (1,43 \times 3,5) - 5,407 = -0,415 \text{ T}$$

Gambar gaya lintang pada tangga ditunjukkan pada Gambar 5.12.

Perhitungan Momen

$$M_{Y1} = (V_A \times y_1) - (0,5 \times q_1 \times y_1^2)$$

$$y_1 = 0 \text{ m} \rightarrow M_A = (5,418 \times 0) - (0,5 \times 1,43 \times 0^2) = 0 \text{ T.m}$$

$$y_1 = 1,95 \text{ m} \rightarrow M_B = (5,418 \times 1,95) - (0,5 \times 1,43 \times 1,95^2) = 7,48 \text{ T.m}$$

$$M_{Y2} = (V_A \times (1,95 + y_2)) - (q_1 \times 1,95 \times (0,975 + y_2)) - (0,5 \times q_2 \times y_2^2)$$

$$y_2 = 0 \text{ m} \rightarrow M_B = (5,418 \times (1,95 + 0)) - (1,43 \times 1,95 \times (0,975 + 0)) - (0,5 \times 1,453 \times 0^2) = 7,85 \text{ T.m}$$

$$y_2 = 2,1 \text{ m} \rightarrow M_C = (5,418 \times (1,95 + 2,1)) - (1,43 \times 1,95 \times (0,975 + 2,1)) - (0,5 \times 1,453 \times 2,1^2) = 10,19 \text{ T.m}$$

Momen Maksimum

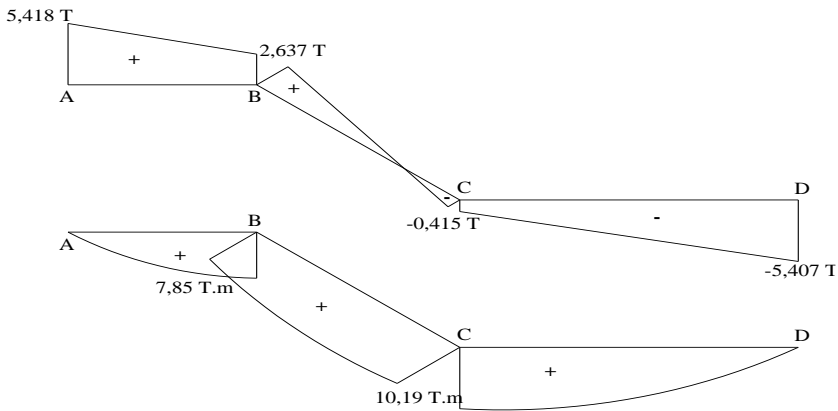
$$y_2 = 1,82 \text{ m} \rightarrow M_{\text{Max.}} = (5,418 \times (1,95 + 1,82)) - (1,43 \times 1,95 \times (0,975 + 1,82)) - (0,5 \times 1,453 \times 1,82^2) = 10,25 \text{ T.m}$$

$$M_{Y3} = (V_D \times y_3) - (0,5 \times q_1 \times y_3^2)$$

$$y_3 = 0 \text{ m} \rightarrow M_D = (5,407 \times 0) - (0,5 \times 1,426 \times 0^2) = 0 \text{ T.m}$$

$$y_3 = 3,5 \text{ m} \rightarrow M_C = (5,407 \times 3,5) - (0,5 \times 1,426 \times 3,5^2) = 10,19 \text{ T.m}$$

Gambar momen pada tangga ditunjukkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Gaya Lintang dan Momen Struktur Tangga

5.2.4 Penulangan Struktur Tangga

Penulangan struktur tangga direncanakan sesuai SNI 1727-2013, dimana dalam perencanaan perhitungan kebutuhan tulangan ini akan disajikan dalam tiga perhitungan, diantaranya satu perhitungan untuk pelat tangga dan dua perhitungan untuk pelat bordes.

5.2.4.1 Penulangan Pelat Tangga

- Data Perencanaan

$$M_U = M_{Max.} = 10,25 \text{ T.m}$$

$$\text{Tebal pelat (t)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Sel. beton (d)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal manfaat} = 150 - 20 - (16/2) = 122 \text{ mm}$$

$$D \text{ Tul. Lentur} = 16 \text{ mm (As} = 201,1 \text{ mm}^2\text{)}$$

$$\varnothing \text{ Tul. Pembagi} = 8 \text{ mm (As} = 50,3 \text{ mm}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7} \\ &= 0,754 \end{aligned}$$

- Perhitungan Kebutuhan Penulangan

Kebutuhan penulangan pelat tangga ditinjau tiap per-1m (1000 mm) pelat beton dan asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} = \frac{10,25 \times 10^7}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 7,649 \text{ N/mm}^2$$

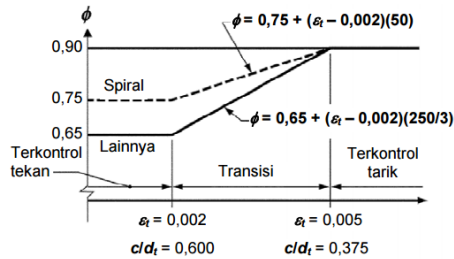
$$m = \frac{f_y}{0,85 x f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 41,5} = 11,06$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 7,649}{390}} \right) \\ &= 0,0224 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0224 \times 1000 \times 122 \\ &= 2730,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.13.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3))]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3))]$

Gambar 5.13 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{2730,8 x 390}{0,85 x 41.5 x 1000} \\
 &= 30,19 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{30,19}{0,754} = 40,07 \text{ mm} \\
 0,375dt &= 0,375 \times 122 = 45,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, $40,07 \text{ mm} \leq 45,75 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{10,25 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(122 - \frac{30,19}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 2730,8 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ Perlu} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{b x d_x} = \frac{2730,8}{1000 \times 122} = 0,0224$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit meemiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} \text{Dimana,} \quad \rho \text{ Min.} &\leq \rho \text{ Perlu} \\ 0,0018 &\leq 0,0224 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho \text{ Perlu} = 0,0224$

→ Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times h_f = 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times h_f = 300 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 300 mm.

Jarak tulangan pakai

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{2730,8}{201,1} = 13,6 \approx 14 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{14-1} = 76,92 \text{ mm}$$

$$\approx 75 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1m :

$$\begin{aligned} n_{\text{pasang}} &= \frac{1000 + S_{\text{Pakai}}}{S_{\text{Pakai}}} \\ &= \frac{1000 + 75}{75} = 14,33 \approx 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

→ Kontrol As tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times A_s \text{ tulangan} \\ &= 15 \times 201,1 \\ &= 3016 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ Pasang} &> A_s \text{ Perlu} \\ 3016 \text{ mm}^2 &> 2730,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D16-75 untuk pelat tangga.

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan $\emptyset 8$ mm dengan mutu tulangan $f_y = 240$ Mpa, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} A_s \text{ Min.} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 122 \\ &= 170,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_s \text{ Min.}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{170,8}{50,3} \\ &= 3,40 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5xh_f = 750 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{4-1} = 333 \text{ mm}$$

$$\approx 300 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

Kontrol As tulangan :

$$AS_{\text{Pasang}} = n_{\text{pasang}} \times AS_{\text{tulangan}}$$

$$= 6 \times 50,3$$

$$= 301,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka, } AS_{\text{Pasang}} > AS_{\text{Min.}}$$

$$301,6 \text{ mm}^2 > 170,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan $\emptyset 8-200$ untuk tulangan pembagi pelat tangga.

- Kontrol Jarak Tulangan Terhadap Retak
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, S, tidak boleh melebihi yang diberikan oleh SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$S = 380 \left(\frac{280}{fs} \right) - 2,5 C_c$$

Tetapi tidak lebih besar dari,

$$S = 300 \left(\frac{280}{fs} \right)$$

Dimana :

$$C_c = \text{Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik}$$

$$= \text{Cover} + \emptyset \text{ tulangan}$$

$$= 20 \text{ mm} + 16 \text{ mm}$$

$$= 36 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= 2/3 \times f_y \\
 &= 2/3 \times 390 \text{ Mpa} \\
 &= 260 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 S &= 380 \left(\frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 36) \\
 &= 319 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 300 \left(\frac{280}{260} \right) \\
 &= 323 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, Plat tangga memenuhi syarat jarak tulangan terhadap kontrol retak.

- Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5.(b), lendutan izin maksimum untuk lantai adalah $L/360$.

$$\delta_{\text{Ijin}} = \frac{L}{360} = \frac{210}{360} = 0,58 \text{ cm}$$

Maka, lendutan yang terjadi pada pelat yaitu :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{Ijin}} &= 1D + 1L \\
 &= (1 \times 521) + (1 \times 488,3) \\
 &= 1009 \text{ kg/m}^2 = 10,09 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Momen ijin pada tangga didapat dari perhitungan mekanika teknik statis tentu dengan beban ijin.

$$M_{\text{Ijin}} = 8,54 \text{ T.m} = 854000 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \sqrt{41,5} \\
 &= 30278 \text{ N/mm}^2 = 302776 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 15^3 = 28125 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{Pasal 8.6.1})$$

$$f_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \quad (\text{Pasal 9.5.2.3})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 12,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$y_t = \frac{t}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{12,63 \times 28125}{7,5} = 47364 \text{ kg.cm}$$

$$I_{cr} = \left(\frac{b \cdot y_t^3}{3} \right) + (A s_{pasang} \cdot y_t^2)$$

$$= \left(\frac{100 \cdot 7,5^3}{3} \right) + (30 \cdot 2,7 \cdot 7,5^2)$$

$$= 15759 \text{ cm}^4$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$= \left(\frac{47364}{854000} \right)^3 28125 + \left[1 - \left(\frac{47364}{854000} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$= 15761,1 \text{ cm}^4$$

$$\delta = \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{q_{ijin} \cdot L^4}{EI} \right)$$

$$= \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{10,09 \times 210^4}{302776 \times 15761,1} \right)$$

$$= 0,054 \text{ cm}$$

Syarat, lendutan yang terjadi tidak boleh kurang dari sama dengan lendutan ijin, maka :

$$\begin{aligned} \delta \text{ cm} &< \delta_{\text{ijin}} \text{ cm} \\ 0,054 \text{ cm} &< 0,58 \text{ cm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi pelat lantai tipe S1 memenuhi dalam syarat lendutan, dimana lendutan yang terjadi kurang dari lendutan ijin.

5.2.4.2 Penulangan Pelat Bordes

Perhitungan penulangan pelat bordes ada dua, dimana yang pertama pelat bordes dengan lebar 1,95 m (S.B-1) dan pelat bordes bentang 3,5 m (S.B-2).

- Data Perencanaan (S.B-1)

$$M_U = M_{\text{Max.}} = 7,85 \text{ T.m}$$

$$\text{Tebal pelat (t)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Sel. beton (d)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal manfaat} = 150 - 20 - (16/2) = 122 \text{ mm}$$

$$D \text{ Tul. Lentur} = 16 \text{ mm (As} = 201,1 \text{ mm}^2)$$

$$\varnothing \text{ Tul. Pembagi} = 8 \text{ mm (As} = 50,3 \text{ mm}^2)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7} \\ &= 0,754 \end{aligned}$$

- Perhitungan Kebutuhan Penulangan

Kebutuhan penulangan pelat bordes ditinjau tiap per-1m (1000 mm) pelat beton dan asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\varnothing = 0,9$).

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} = \frac{7,85 \times 10^7}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 5,863 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 41,5} = 11,06$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmRn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 5,863}{390}} \right) \\ &= 0,0165\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0165 \times 1000 \times 122 \\ &= 2018,8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.13 di perhitungan pelat tangga. Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\ &= \frac{2018,8 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 1000} \\ &= 22,32 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{22,32}{0,754} = 29,62 \text{ mm} \\ 0,375dt &= 0,375 \times 122 = 45,75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, $29,62 \text{ mm} \leq 45,75 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{Mu}{\phi f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{7,85 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(122 - \frac{22,32}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 2018,8 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ Perlu} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{b x d_x} = \frac{2018,8}{1000 \times 122} = 0,0165$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\text{Dimana, } \rho_{\text{Min.}} \leq \rho \text{ Perlu} \\ 0,0018 \leq 0,0165$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho \text{ Perlu} = 0,0224$

→ Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times hf = 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times hf = 300 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 300 mm.

Jarak tulangan pakai

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{2018,8}{201,1} = 10,04 \approx 11 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{11-1} = 100 \text{ mm}$$

$$\approx 100 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1m :

$$\begin{aligned} n_{\text{pasang}} &= \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{1000 + 75}{75} = 14,33 \approx 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

→ Kontrol As tulangan

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{As tulangan} \\ &= 15 \times 201,1 \\ &= 3016 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \text{As Pasang} &> \text{As Perlu} \\ 3016 \text{ mm}^2 &> 2018,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D16-75 untuk pelat bordes (S.B-1).

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan $\emptyset 8$ mm dengan mutu tulangan $f_y = 240$ Mpa, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{Min.}} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 122 \\ &= 170,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{\text{As}_{\text{Min.}}}{\text{As}_{\text{tulangan}}} \\ &= \frac{170,8}{50,3} \\ &= 3,40 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5x_{hf} = 750 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{4-1} = 333 \text{ mm}$$

$$\approx 300 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

Kontrol As tulangan :

$$AS_{\text{Pasang}} = n_{\text{pasang}} \times AS_{\text{tulangan}}$$

$$= 6 \times 50,3$$

$$= 301,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka, } AS_{\text{Pasang}} > AS_{\text{Min.}}$$

$$301,6 \text{ mm}^2 > 170,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan $\emptyset 8-200$ untuk tulangan pembagi pelat tangga.

- Kontrol Jarak Tulangan Terhadap Retak
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, S, tidak boleh melebihi yang diberikan oleh SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c$$

Tetapi tidak lebih besar dari,

$$S = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana :

$$C_c = \text{Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik}$$

$$= \text{Cover} + \emptyset \text{ tulangan}$$

$$= 20 \text{ mm} + 16 \text{ mm}$$

$$= 36 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= 2/3 \times f_y \\
 &= 2/3 \times 390 \text{ Mpa} \\
 &= 260 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 S &= 380 \left(\frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 36) \\
 &= 319 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 300 \left(\frac{280}{260} \right) \\
 &= 323 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, Plat bordes memenuhi syarat jarak tulangan terhadap kontrol retak.

- Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5.(b), lendutan izin maksimum untuk lantai adalah $L/360$.

$$\delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{360} = \frac{195}{360} = 0,54 \text{ cm}$$

Maka, lendutan yang terjadi pada pelat yaitu :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ijin}} &= 1D + 1L \\
 &= (1 \times 426) + (1 \times 488,3) \\
 &= 914,3 \text{ kg/m}^2 = 9,143 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Momen ijin pada tangga didapat dari perhitungan mekanika teknik statis tentu dengan beban ijin.

$$M_{\text{ijin}} = 6,55 \text{ T.m} = 655000 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \sqrt{41,5} \\
 &= 30278 \text{ N/mm}^2 = 302776 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 15^3 = 28125 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{Pasal 8.6.1})$$

$$f_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \quad (\text{Pasal 9.5.2.3})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 12,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$y_t = \frac{t}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{12,63 \times 28125}{7,5} = 47364 \text{ kg.cm}$$

$$I_{cr} = \left(\frac{b \cdot y_t^3}{3} \right) + (A s_{pasang} \cdot y_t^2)$$

$$= \left(\frac{100 \cdot 7,5^3}{3} \right) + (20 \cdot 2,7 \cdot 7,5^2)$$

$$= 15198 \text{ cm}^4$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$= \left(\frac{47364}{655000} \right)^3 28125 + \left[1 - \left(\frac{47364}{655000} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$= 15203 \text{ cm}^4$$

$$\delta = \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{q_{ijin} \cdot L^4}{EI} \right)$$

$$= \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{9,143 \times 195^4}{302776 \times 15203} \right)$$

$$= 0,037 \text{ cm}$$

Syarat, lendutan yang terjadi tidak boleh kurang dari sama dengan lendutan ijin, maka :

$$\begin{aligned}\delta \text{ cm} &< \delta_{\text{ijin}} \text{ cm} \\ 0,037 \text{ cm} &< 0,54 \text{ cm} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Jadi pelat bordes tipe S.B-1 memenuhi dalam syarat lendutan, dimana lendutan yang terjadi kurang dari lendutan ijin.

- Data Perencanaan (S.B-2)

$$M_U = M_{\text{Max.}} = 10,19 \text{ T.m}$$

$$\text{Tebal pelat (t)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Sel. beton (d)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal manfaat} = 150 - 20 - (16/2) = 122 \text{ mm}$$

$$\text{D Tul. Lentur} = 16 \text{ mm} (A_s = 201,1 \text{ mm}^2)$$

$$\varnothing \text{ Tul. Pembagi} = 8 \text{ mm} (A_s = 50,3 \text{ mm}^2)$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7} \\ &= 0,754\end{aligned}$$

- Perhitungan Kebutuhan Penulangan

Kebutuhan penulangan pelat bordes ditinjau tiap per-1m (1000 mm) pelat beton dan asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\varnothing = 0,9$).

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$R_n = \frac{Mu}{\varnothing b x d_x^2} = \frac{10,19 \times 10^7}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 7,605 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f'c} = \frac{390}{0,85 \times 41,5} = 11,06$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 7,605}{390}} \right)$$

$$= 0,0222$$

$$A_s = \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0,0222 \times 1000 \times 122$$

$$= 2712,5 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.13 di perhitungan pelat tangga. Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b}$$

$$= \frac{2712,5 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 1000}$$

$$= 29,99 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,99}{0,754} = 39,8 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 122 = 45,75 \text{ mm}$$

Maka, $39,8 \text{ mm} \leq 45,75 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{M_u}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{10,19 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(122 - \frac{29,99}{2}\right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 2712,5 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ Perlu} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{b \times d_x} = \frac{2712,5}{1000 \times 122} = 0,0222$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
Mutu tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (pasal 7.12.2.1).

$$\text{Dimana, } \rho \text{ Min.} \leq \rho \text{ Perlu} \\ 0,0018 \leq 0,0222$$

Maka dalam perancangan gunakan $\rho \text{ Perlu} = 0,0224$

→ Kontrol jarak tulangan

$$S \leq 3 \times h_f = 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.6.5})$$

$$S \leq 2 \times h_f = 300 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 13.3.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 300 mm.

Jarak tulangan pakai

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{2712,5}{201,1} = 13,49 \approx 14 \text{ buah}$$

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{14-1} = 77 \text{ mm}$$

$$\approx 75 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$

Jumlah tulangan terpasang per 1m :

$$\begin{aligned} n \text{ pasang} &= \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{1000 + 75}{75} = 14,33 \approx 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

→ Kontrol As tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times A_s \text{ tulangan} \\ &= 15 \times 201,1 \\ &= 3016 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ Pasang} &> A_s \text{ Perlu} \\ 3016 \text{ mm}^2 &> 2018,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D16-75 untuk pelat bordes (S.B-1).

→ Tulangan pembagi/susut

Untuk tulangan pembagi menggunakan tulangan $\emptyset 8$ mm dengan mutu tulangan $f_y = 240$ Mpa, paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0014 (pasal 7.12.2.1).

$$\begin{aligned} A_{s \text{ Min.}} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 122 \\ &= 170,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s \text{ Min.}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \\ &= \frac{170,8}{50,3} \\ &= 3,40 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$S \leq 5xh_f = 750 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Pasal 7.12.2.2})$$

Maka nilai S yang menentukan adalah 450 mm.

Jarak tulangan dalam tinjauan 1m :

$$\begin{aligned} S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{4-1} = 333 \text{ mm} \\ &\approx 300 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 200$ mm

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pakai}}}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

Kontrol As tulangan :

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= n_{\text{pasang}} \times A_s \text{ tulangan} \\ &= 6 \times 50,3 \\ &= 301,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ Pasang} &> A_s \text{ Min.} \\ 301,6 \text{ mm}^2 &> 170,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan Ø8-200 untuk tulangan pembagi pelat tangga.

- Kontrol Jarak Tulangan Terhadap Retak
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, S, tidak boleh melebihi yang diberikan oleh SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5C_c$$

Tetapi tidak lebih besar dari,

$$S = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana :

C_c = Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik

$$= \text{Cover} + \text{Ø tulangan}$$

$$= 20 \text{ mm} + 16 \text{ mm}$$

$$= 36 \text{ mm}$$

$$f_s = 2/3 \times f_y$$

$$= 2/3 \times 390 \text{ Mpa}$$

$$= 260 \text{ Mpa}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 S &= 380 \left(\frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 36) \\
 &= 319 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 300 \left(\frac{280}{260} \right) \\
 &= 323 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, Plat bordes memenuhi syarat jarak tulangan terhadap kontrol retak.

- Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5.(b), lendutan izin maksimum untuk lantai adalah $L/360$.

$$\delta_{\text{Ijin}} = \frac{L}{360} = \frac{350}{360} = 0,97 \text{ cm}$$

Maka, lendutan yang terjadi pada pelat yaitu :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{Ijin}} &= 1D + 1L \\
 &= (1 \times 426) + (1 \times 488,3) \\
 &= 914,3 \text{ kg/m}^2 = 9,143 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Momen ijin pada tangga didapat dari perhitungan mekanika teknik statis tentu dengan beban ijin.

$$M_{\text{Ijin}} = 8,49 \text{ T.m} = 849000 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \sqrt{41,5} \\
 &= 30278 \text{ N/mm}^2 = 302776 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 15^3 = 28125 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{Pasal 8.6.1})$$

$$f_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \quad (\text{Pasal 9.5.2.3})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 12,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$y_t = \frac{t}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{12,63 \times 28125}{7,5} = 47364 \text{ kg.cm}$$

$$I_{cr} = \left(\frac{b \cdot y_t^3}{3} \right) + (A s_{pasang} \cdot y_t^2)$$

$$= \left(\frac{100 \cdot 7,5^3}{3} \right) + (27 \cdot 12,7 \cdot 7,5^2)$$

$$= 15588 \text{ cm}^4$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_o} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$= \left(\frac{47364}{849000} \right)^3 28125 + \left[1 - \left(\frac{47364}{849000} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$= 15590,4 \text{ cm}^4$$

$$\delta = \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{q_{Ijin} \cdot L^4}{EI} \right)$$

$$= \left(\frac{5}{384} \right) x \left(\frac{9,143 \times 350^4}{302776 \times 15590,4} \right)$$

$$= 0,378 \text{ cm}$$

Syarat, lendutan yang terjadi tidak boleh kurang dari sama dengan lendutan ijin, maka :

$$\delta \text{ cm} < \delta_{ijin} \text{ cm}$$

$$0,378 \text{ cm} < 0,97 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

Jadi pelat bordes tipe S.B-2 memenuhi dalam syarat lendutan, dimana lendutan yang terjadi kurang dari lendutan ijin.

- Tulangan Terpasang

→ Pelat Tangga

Lentur = D16 - 75

Pembagi = $\emptyset 8 - 300$

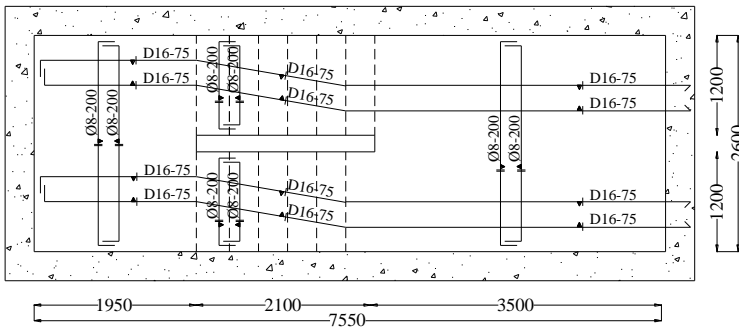
→ Pelat Bordes (S.B-1)

Lentur = D16 - 75

Pembagi = $\emptyset 8 - 300$

- Sketsa Penulangan Struktur Tangga

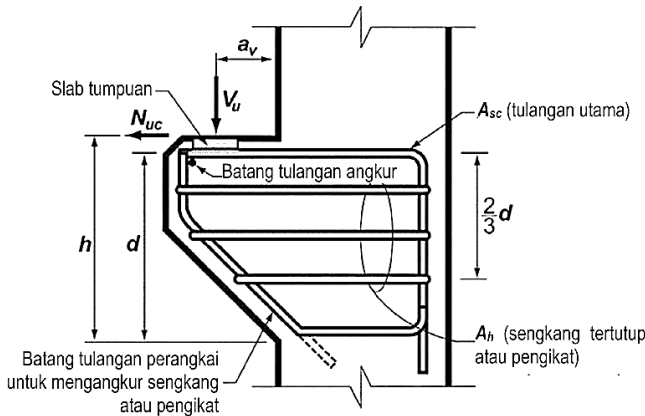
Gambar penulangan struktur tangga ditunjukkan pada gambar 5.8.



Gambar 5.14 Gambar Penulangan Struktur Tangga

5.3. Perencanaan Konsol Tangga

Konsol pada struktur apartemen ini digunakan sebagai sambungan antara shear wall dan struktur tangga, dimana pelat bordes diletakkan pada konsol yang berada pada shear wall dan kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada shear wall tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 5.15.



Gambar 5.15 Geometrik Konsol Pendek

5.3.1 Data Perencanaan Konsol

Mutu bahan dan spesifikasi ukuran yang digunakan untuk perencanaan konsol tangga dapat dilihat sebagai berikut:

- Mutu beton ($f'c$) = 41,5 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- D Tul. Lentur = 16 mm
- Selimut beton (d) = 40 mm
- Dimensi konsol = b_w = 250 mm
 h = 350 mm
- Tebal manfaat = $250 - 40 - (16/2) = 294$ mm
- a_v = 100 mm

Gaya geser (V_u) pada konsol sejarak " a_v " pada muka SW didapat dari perhitungan struktur tangga, yaitu pada perhitungan gaya dalam pada bordes sebesar 55233,75 N.

5.3.2 Penulangan Konsol

Terdapat dua syarat dalam perecanaan konsol yang telah ditetapkan menurut SNI 2847:2013 pasal 11.8.1 adalah sebagai berikut.

$$1. \frac{a_v}{d} \leq 1 \rightarrow \frac{100}{294} = 0,34 \leq 1 \quad (\text{OK})$$

$$2. N_{uc} \leq V_u$$

$$0,2 \times V_u = 0,2 \times 55233,75 = 11046,75 \text{ N}$$

$$11046,75 \text{ N} \leq 55233,75 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan dua perhitungan syarat diatas konsol dapat direncanakan sesuai pasal 11.8.1 karena kedua syarat tersebut terpenuhi.

- Menentukan Luas Tulangan Geser Friksi

Nilai kuat geser V_n untuk beton normal sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1 ,sebagai berikut.

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{55233,75}{0,75} = 73644,995 \text{ N}$$

Kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang tercantum dalam Pasal 11.8.3.2.1.

$$\rightarrow 0,2 \times f'c \times b_w \times d$$

$$0,2 \times 41,5 \times 250 \times 294$$

$$= 762562,5 \text{ N} \geq 73644,995 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$\rightarrow (3,3 + 0,08 \times f'c) \times b_w \times d$$

$$(3,3 + 0,08 \times 41,5) \times 250 \times 294$$

$$= 486570 \text{ N} \geq 73644,995 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$\rightarrow 11 \times b_w \times d$$

$$11 \times 250 \times 294$$

$$= 808500 \text{ N} \geq 73644,995 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Jadi, luas tulangan dapat diambil sebagai berikut.

$$A_{vt} = \frac{V_n}{f_{yx}\mu} = \frac{73644,995}{390 \times 1,4} = 134,9 \text{ mm}^2$$

- Luas Tulangan Lentur

Tulangan lentur dalam perencanaan konsol harus ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3 ,sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 M_U &= V_U \times a_v + N_{UC} \times (h - d) \\
 &= 55233,75 \times 100 + 11046,75 \times (350 - 294) \\
 &= 6141992,6 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} = \frac{6141992,6}{0,9 \times 250 \times 294^2} = 0,316 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 41,5} = 11,06$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 0,316}{390}} \right) \\
 &= 0,00081
 \end{aligned}$$

Cek rasio tulangan pakai, $\rho_{\text{perlu}} \geq \rho_{\text{min.}}$
 $0,00081 < 0,0035$

Jadi digubakan rasio tulangan minimum.

$$\begin{aligned}
 A_f &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\
 &= 0,0035 \times 250 \times 294 \\
 &= 257,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan pokok A_n ,

$$A_n = \frac{N_{UC}}{\phi x f_y} = \frac{11046,75}{0,75 \times 390} = 37,77 \text{ mm}^2$$

- Menentukan Kebutuhan Tulangan Terpasang
 Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5 dan pasal 11.8.5 luas tulangan tarik utama A_{SC} tidak boleh kurang dari berikut.

$$\begin{aligned}
 \rightarrow A_{SC} &\geq (A_f + A_n) \\
 &\geq (257,25 + 37,77) \\
 &\geq 295,02 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rightarrow A_{SC} &\geq \frac{2.A_{VF}}{3} + A_n \\
&\geq \frac{2.134,9}{3} + 37,77 \\
&\geq 127,69 \text{ mm}^2 \\
\rightarrow A_{SC} &\geq 0,04 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) b.d \\
&\geq 0,04 \left(\frac{41,5}{390} \right) .250.294 \\
&\geq 312,85 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jadi digunakan luas tulangan tarik utama, $A_{SC} = 312,85 \text{ mm}^2$.

- Menentukan Kebutuhan Tulangan Sengkang
Sengkang tertutup terhadap tulangan tarik utama tidak boleh kurang dari yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 pasal 11.8.4 ,sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
A_h &= 0,5 \times (A_{SC} - A_n) \\
&= 0,5 \times (312,85 - 37,77) \\
&= 137,54 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan terpasang,

$$n = \frac{A_h}{A_s} = \frac{137,54}{0,25.\pi.16^2} = 0,7 = 2 \text{ buah}$$

Jadi digunakan tulangan sengkang 2 kaki D16 yang dipasang merata sepanjang $(2/3)d$ yang dapat dilihat pada gambar 5.15.

5.4. Perencanaan Balok Anak

Balok anak merupakan struktur sekunder yang berfungsi sebagai pembagi/pendistribusi beban. Dalam perencanaan struktur gedung Apartement Puncak Dharma Husada Surabaya ini dimensi balok anak yang digunakan adalah 20/30 dengan bentang 4 m, dan perhitungan disain juga dilakukan sesuai SNI 2847:2013.

5.4.1 Data Perencanaan Balok Anak

Mutu bahan yang digunakan untuk perencanaan balok anak sesuai dengan preliminary desain sebagai berikut :

- Mutu beton ($f'c$) = 41,5 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa (Ulir)
= 240 MPa (Polos)
- Dimensi balok anak = (b) = 200 mm
(h) = 300 mm
- Selimut beton (d) = 40 mm

5.4.2 Pembebanan Balok Anak

Beban pada balok anak dapat dilihat pada gambar 5.16 dimana pada gambar tersebut ditunjukkan beban terbagi rata tributary area pada kedua sisi balok akibat pelat yang membebani dikedua sisinya. Maka untuk mendapatkan beban merata pada balok akibat beban tributary area digunakan rumus q_{ekv} .

$$q_{ekv} \text{ untuk satu trapesium : } \frac{1}{2} q l_x \left(1 - \frac{l_x^2}{3l_y^2} \right)$$

- **Beban Mati**

Beban mati yang membebani balok anak berasal dari tiga beban yaitu berat sendiri balok anak, berat pelat tributary area dan berat dinding yang menumpu pada balok anak (bila ada dinding).

1. Berat Sendiri Balok

$$\begin{aligned} q_{BA} &= b \times h \times BJ \\ &= 0,2 \times (0,3-0,12) \times 2400 \\ &= 86,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Berat Dinding,

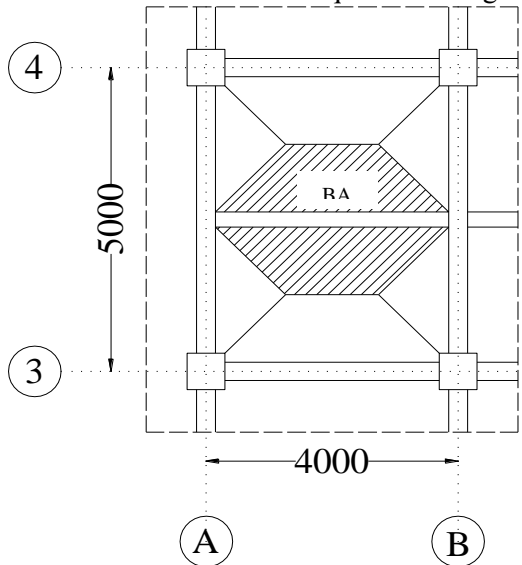
$$q_{Dinding} = 162 \text{ kg/m (berdasarkan brosur bata ringan)}$$

3. Berat Pelat Tributary Area

$$q_{PL} = 412 \text{ kg/m}^2 \text{ (didapat dari perhitungan pelat)}$$

$$\begin{aligned}
 q_{ekv} &= \frac{1}{2} q l_x \left(1 - \frac{l_x^2}{3 l_y^2} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 412 \times 2,5 \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{2,5^2}{4^2} \right) \\
 &= 447,94 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Jadi beban mati total q_{DL} didapatkan dari penjumlahan ketiga beban diatas. Dimana nilai $q_{DL} = 1072 \text{ kg/m}^2$.



Gambar 5.16 Denah Lokasi Balok Anak

- **Beban Hidup**
Beban hidup pada balok anak didapat dari perhitungan beban hidup pelat lantai sebelumnya, dimana beban tersebut berdasarkan fungsi ruang lantai apartement dan mengacu pada SNI 1727:2013.
 $q_{LL} = 195,72 \text{ kg/m}^2$ (dari perhitungan pelat lantai)

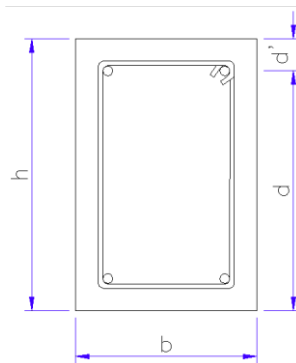
$$\begin{aligned}
 q_{ekv} &= \frac{1}{2} q l_x \left(1 - \frac{l_x^2}{3 l_y^2} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 195,72 \times 2,5 \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{2,5^2}{4^2} \right) \\
 &= 212,79 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Jadi beban hidup lantai berdasarkan luas tributary area q_{LL} sebesar $2 \times 212,79 = 425,59 \text{ kg/m}^2$.

5.4.3 Penulangan Balok Anak

Penulangan balok anak direncanakan sesuai SNI 1727-2013, dimana dalam perencanaan perhitungan kebutuhan tulangan balok anak ini akan disajikan satu contoh perhitungan untuk balok anak tipe BA-1 saja.

- Data Perencanaan
Dimensi balok anak tipe BA-1 dapat ditunjukkan pada gambar 5.17.



Gambar 5.17 Dimensi Balok Anak Tipe BA-1

- Dimensi balok = $200 \times 300 \text{ mm}^2$
- Panjang balok = 4000 mm
- Sel. beton (d) = 40 mm

$$\rightarrow D \text{ Tul. Lentur} = 13 \text{ mm (As} = 132,7 \text{ mm}^2)$$

$$\rightarrow \emptyset \text{ Tul. Pembagi} = 8 \text{ mm (As} = 50,3 \text{ mm}^2)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7} \\ &= 0,754 \end{aligned}$$

→ Tebal manfaat :

$$\begin{aligned} d' &= h_{\text{balok}} - \text{Sel. beton} - D \text{ Tul.} - \frac{1}{2} D \text{ Tul.} \\ &= 300 - 40 - 8 - \frac{1}{2}(13) \\ &= 245,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= \text{Sel. beton} + D \text{ Tul.} + \frac{1}{2} D \text{ Tul.} \\ &= 40 + 8 + \frac{1}{2}(13) \\ &= 54,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban yang dipakai dalam perhitungan balok anak ini berdasarkan kombinasi gravity load.

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= (1,2 \times 1072) + (1,6 \times 425,59) \\ &= 1797,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Momen pada Balok Anak

Momen rencana pada balok anak dihitung menggunakan metode analisis sesuai dengan pasal 8.3. Adapun beberapa syarat yang harus terpenuhi terlebih dahulu sebelum menghitung momen rencana dengan metode analisis, seperti berikut :

→ Terdapat dua bentang atau lebih

Balok anak pada gedung Apartemen Puncak Dharma Husada ini memiliki bentang lebih dari dua seperti yang terlihat pada gambar 4.1.

→ Bentang-bentangya mendekati sama

Semua bentang balok anak yang ada pada apartemen ini memiliki ukuran yang sama yaitu 4m.

→ Beban terdistribusi merata

Beban pada balok anak ini terdistribusi merata tributary area pada kedua sisinya atau salah satu sisinya.

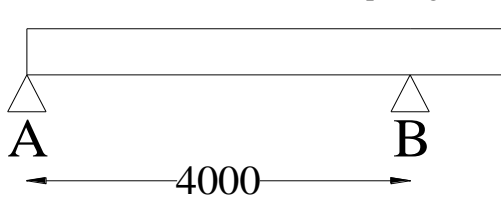
→ Syarat beban tak terfaktor

$$\begin{aligned} q_{LL} \text{ kg/m}^2 &\leq 3 \times q_{DL} \text{ kg/m}^2 \\ 425,59 \text{ kg/m}^2 &\leq 3 \times 1072,4 \text{ kg/m}^2 \\ 425,59 \text{ kg/m}^2 &\leq 3217,2 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, setelah beberapa syarat diatas terpenuhi maka perhitungan momen rencana dengan menggunakan metode analisis dapat digunakan.

Momen rencana balok anak

Untuk perhitungan momen rencana pada balok anak perletakan diasumsikan sendi-sendi seperti gambar 5.18.



Gambar 5.18 Sketsa Penampang Balok Anak dan Perletakannya

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Bentang bersih balok} \\ &= 4000 - (2 \times (1/2 \times B_{\text{balok}})) \\ &= 4000 - (2 \times (1/2 \times 300)) \\ &= 3700 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_A = \frac{q_u \times L_n^2}{10} = \frac{1797,6 \times 3,7^2}{10} = 2460,9 \text{ kg.m}$$

$$M_{A-B} = \frac{q_u \times L_n^2}{16} = \frac{1797,6 \times 3,7^2}{16} = 1538,1 \text{ kg.m}$$

$$M_B = \frac{q_u \times L_n^2}{11} = \frac{1797,6 \times 3,7^2}{11} = 2237,2 \text{ kg.m}$$

$$V_u = \frac{q_u \times L_n}{2} = \frac{1797,6 \times 3,7}{2} = 3325,5 \text{ kg}$$

- Perhitungan Kebutuhan Penulangan Transversal
Kebutuhan penulangan balok anak ditinjau tiap per-1m (1000 mm) balok beton.

Tumpuan A

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal
Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b x d_x^2} \\ &= \frac{2460,9 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 245,5^2} \\ &= 0,4537 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

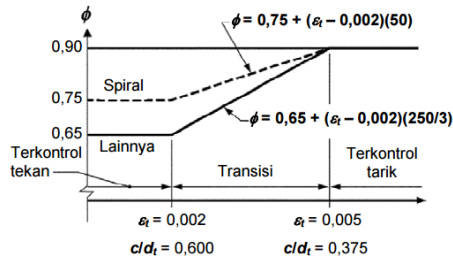
$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\ &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\ &= 11,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 0,454}{390}} \right) \\ &= 0,0012 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0012 \times 1000 \times 245,5 \\ &= 287,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.19.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$

Gambar 5.19 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{287,4 x 390}{0,85 x 41,5 x 1000} \\
 &= 3,178 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,178}{0,754} = 4,217 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 245,5 = 92,06 \text{ mm}$$

Maka, $4,217 \text{ mm} \leq 92,06 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{2460,9 x 10^4}{0,9 x 390 x \left(245,5 - \frac{3,178}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 287,4 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25 x \sqrt{f'c}}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{0,25 x \sqrt{41,5}}{390} x 200 x 245,5 \\ &= 202,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{1,4}{390} x 200 x 245,5 \\ &= 176,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } A_{s \text{ Min.}} &\leq A_{s \text{ Perlu}} \\ 202,8 \text{ mm}^2 &\leq 287,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Perlu}} = 287,4 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{287,4}{132,73} = 2,166 \approx 3 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - (2xd) - (N \times D.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{200 - (2 \times 40) - (3 \times 13) - (2 \times 8)}{3 - 1} \\ &\approx 32,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang satu lapis, dengan jumlah tulangan 3D13.

Lapangan A-B

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\ &= \frac{1538,1 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 245,5^2} \\ &= 0,284 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\ &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\ &= 11,06 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 0,284}{390}} \right)$$

$$= 0,0007$$

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0007 \times 1000 \times 245,5 \\ &= 179,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.19. Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\ &= \frac{179,2 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 1000} \\ &= 1,981 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,981}{0,754} = 2,629 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 245,5 = 92,06 \text{ mm}$$

Maka, $2,629 \text{ mm} \leq 92,06 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{1538,1 \times 10^4}{0,9 \times 390 \times \left(245,5 - \frac{1,981}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 179,2 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{0,25x\sqrt{41,5}}{390} x 200 x 245,5 \\ &= 202,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{1,4}{390} x 200 x 245,5 \\ &= 176,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } A_{s \text{ Min.}} &\leq A_{s \text{ Perlu}} \\ 202,8 \text{ mm}^2 &\geq 179,2 \text{ mm}^2 \text{ (NOT OK)} \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Minimum}} = 202,8 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{202,8}{132,73} = 1,528 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - (2xd) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{200 - (2x40) - (2x13) - (2x8)}{2 - 1} \\ &\approx 78 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang satu lapis, dengan jumlah tulangan 2D13.

Tumpuan B

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\ &= \frac{2237,2 \times 10^4}{0,9 \times 1000 \times 245,5^2} \\ &= 0,4124 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\ &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\ &= 11,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 0,4124}{390}} \right) \\ &= 0,0011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0011 \times 1000 \times 245,5 \\ &= 261,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.19. Dimana nilai $c \leq 0,375 d_t$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\alpha = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{261,2 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 1000} \\
 &= 2,8874 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,8874}{0,754} = 3,832 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$0,375d_t = 0,375 \times 245,5 = 92,06 \text{ mm}$$

Maka, $3,832 \text{ mm} \leq 92,06 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &\leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)} \\
 A_s \text{ perlu} &\leq \frac{2237,2 \times 10^4}{0,9 \times 390 \times \left(245,5 - \frac{2,8874}{2} \right)}
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 261,2 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d' \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{41,5}}{390} \times 200 \times 245,5 \\
 &= 202,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d'$$

$$= \frac{1,4}{390} \times 200 \times 245,5$$

$$= 176,3 \text{ mm}^2$$

Jadi, $A_{S \text{ Min.}} \leq A_{S \text{ Perlu}}$

$$202,8 \text{ mm}^2 \leq 261,2 \text{ mm}^2$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{S \text{ Perlu}} = 261,2 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S \text{ Perlu}}}{A_{S \text{ tulangan}}} = \frac{261,2}{132,73} = 1,968 \approx 3 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan :

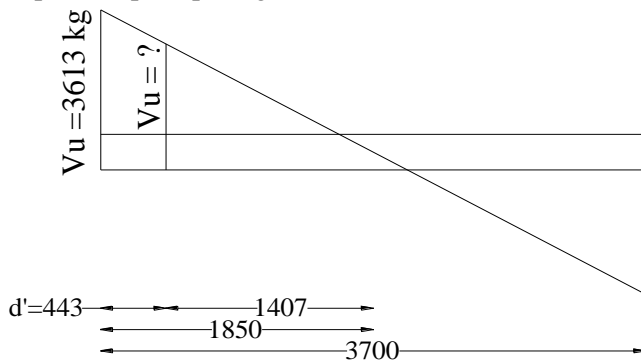
$$S = \frac{bw - (2 \times d) - (N \times D_{\text{tul}}) - (2 \times \phi)}{N - 1}$$

$$= \frac{200 - (2 \times 40) - (3 \times 13) - (2 \times 8)}{3 - 1}$$

$$\approx 32,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan transversal dipasang satu lapis, dengan jumlah tulangan 3D13.

- Menentukan Tulangan Geser Terpasang
Menentukan nilai V_u terjadi pada jarak d' dari muka tumpuan, seperti pada gambar 5.20.



Gambar 5.20 Nilai V_u Sejarak d' dari Muka Tumpuan

$$\begin{aligned}
 V_u' &= \frac{Vu}{1,85} x (1,85 - d') \\
 &= \frac{3325,5}{1,85} x (1,85 - 0,246) \\
 &= 2884,2 \text{ kg} = 29431 \text{ N}
 \end{aligned}$$

→ Kuat geser beton

Kuat geser beton (V_c) untuk komponen struktur yang dikenai gaya lentur dan geser dihitung sesuai pasal 11.2.1.1.

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 x \lambda x f_c^{1/2} x b_w x d' \\
 &= 0,17 x 1 x 41,5^{1/2} x 200 x 245,5 \\
 &= 53771,786 \text{ N}
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kekuatan penampang

Kontrol kekuatan penampang sesuai (pasal 11.4.7.1) tanpa memperhitungkan nilai kuat geser baja dan faktor reduksi (ϕ) diambil sesuai (pasal 9.3.2.3).

$$\begin{aligned}
 V_u' &< \phi \cdot V_c \\
 29431 \text{ N} &< 0,75 x 53771,786 \text{ N} \\
 29431 \text{ N} &< 40328,84 \text{ N} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kebutuhan tulangan geser

Syarat kebutuhan tulangan geser minimum mengacu pada (pasal 11.4.6.1).

$$\begin{aligned}
 V_u' &> 0,5 \phi \cdot V_c \\
 29431 \text{ N} &> 0,5 x 0,75 x 53771,786 \text{ N} \\
 29431 \text{ N} &> 20164,42 \text{ N} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi penampang balok anak menggunakan tulangan geser minimum.

$$\begin{aligned}
 A_{v \text{ min.}} &= 2 x A_{s \text{ tul}} \\
 &= 2 x 0,25 x \pi x D^2 \\
 &= 2 x 0,25 x \pi x 8^2 \\
 &= 100,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

→ Kontrol spasi tulangan geser

Spasi tulangan geser didapat dari penjabaran rumus pada (pasal 11.4.6.3) dan syarat spasi minimum pada (pasal 11.4.5.1), dimana nilainya diambil yang menentukan.

$$A_{v_{\min}} = 0,062x\sqrt{f'_{cx}}\left(\frac{b_w x S}{f_{yt}}\right)$$

$$100,53 = 0,062x\sqrt{41,5}x\left(\frac{200xS}{240}\right)$$

$$S = 302,4 \text{ mm}$$

$$A_{v_{\min}} = \frac{0,35x b_w x S}{f_{yt}}$$

$$100,53 = \frac{0,35x 200 x S}{240}$$

$$S = 344,68 \text{ mm}$$

Kontrol terhadap spasi minimum:

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

$$S \leq d/2 = 245,5/2 = 122,75 \approx 120 \text{ mm}$$

Maka digunakan sengkang 2 kaki $\emptyset 8 - 120 \text{ mm}$ pada daerah tumpuan dan 2 kaki $\emptyset 8 - 240 \text{ mm}$ pada daerah lapangan balok anak.

- Kontrol Jarak Tulangan Terhadap Kontrol Retak
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, tidak boleh melebihi dari (pasal 10.6.4).

$$C_c = d + \emptyset_{\text{tul}} = 40 + 13 = 53 \text{ mm}$$

$$f_s = 2/3 \times f_y = 2/3 \times 390 = 260 \text{ Mpa}$$

Maka,

$$S = 380x\left(\frac{280}{f_s}\right) - (2,5xC_c)$$

$$= 380x\left(\frac{280}{260}\right) - (2,5x53)$$

$$= 277 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(OK)

Dan tidak lebih dari,

$$S = 300x\left(\frac{280}{f_s}\right)$$

$$= 300x\left(\frac{280}{260}\right)$$

$$= 323 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(OK)

Jadi, Balok Anak memenuhi syarat jarak tulangan terhadap kontrol retak.

- Tulangan Terpasang

Tumpuan A = 3D13

Lapangan A-B = 2D13

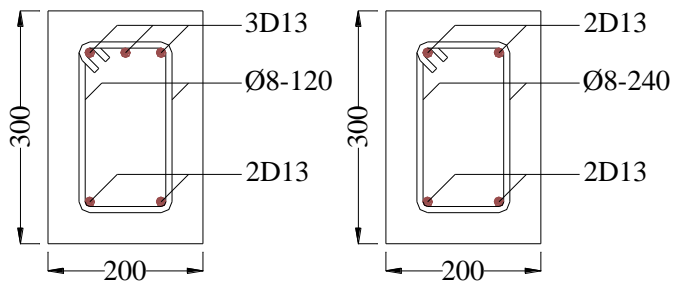
Tumpuan B = 3D13

Geser = 2 kaki Ø8 – 120 mm (Tumpuan)

= 2 kaki Ø8 – 240 mm (Lapangan)

- Sketsa Penulangan Balok Anak

Gambar penulangan balok anak ditunjukkan pada gambar 5.21.

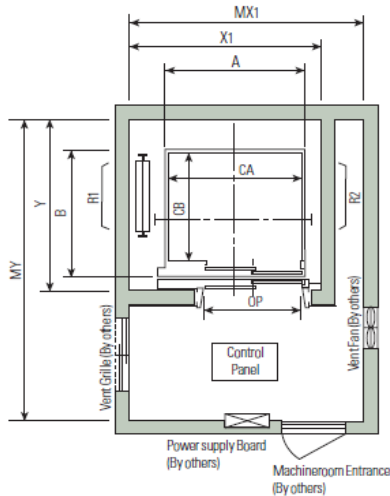


Gambar 5.21 Gambar Penulangan Balok Anak

5.5. Perencanaan Balok Lift

Perancangan balok lift ini meliputi balok – balok yang berkaitan dengan ruang mesin lift. Untuk lift pada bangunan ini menggunakan lift penumpang yang diproduksi oleh

Hyundai seperti diperlihatkan pada gambar 5.22 dengan spek sebagai berikut :



Gambar 5.22 Penampang Lift

- Merk : Hyundai
- Tipe lift : Passenger
- Kapasitas : 18 orang/1350 kg
- Lebar pintu (op) : 1000 mm
- Dimensi ruang luncur (hoistway) : 2300 x 2750 mm²
- Dimensi sangkar (car size)
 - Inside : 1300 x 2300 mm²
 - Outside : 1400 x 2507 mm²
- Dimensi ruang mesin : 2600 x 4800 mm²
- Beban reaksi ruang mesin
 - R1 = 14350 kg (berat mesin penggerak lift + beban kereta + perlengkapan)
 - R2 = 7650 kg (berat bandul pemberat + perlengkapan)

5.5.1 Data Perencanaan Balok Lift

Mutu dan spek bahan yang digunakan untuk perencanaan balok lift sesuai dengan preliminary desain sebagai berikut :

- Mutu beton ($f'c$) = 41,5 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa (Ulir)
= 240 MPa (Polos)
- Panjang balok lift = 3000 mm
- Dimensi balok lift = (b) = 300 mm
(h) = 400 mm
- Selimut beton (d) = 40 mm

5.5.2 Pembebanan Balok Lift

Beban pada balok lift berasal dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapannya yang nilainya perlu juga untuk dikalikan oleh factor kejut sesuai SNI 1727-2012 pasal 4.6 yaitu sebesar 20%.

- Beban yang Terjadi

Akibat reaksi lift :

$$P1 = R1 = 14350 \text{ kg} = 14,35 \text{ T}$$

$$P2 = R2 = (1+20\%) \times 7650 \text{ kg} = 9180 \text{ kg} = 9,18 \text{ T}$$

Akibat berat sendiri balok dan pelat penutup :

$$\text{Balok} = b \times h \times BJ$$

$$= 0,3 \times (0,4-0,12) \times 2400$$

$$= 201,6 \text{ kg/m} = 0,202 \text{ T/m}$$

$$\text{Plat} = P \times t \times BJ$$

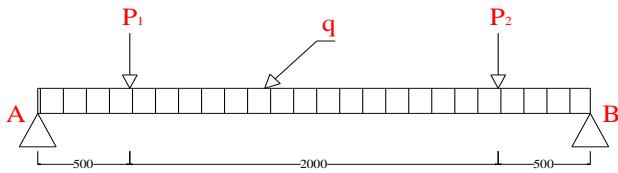
$$= 4 \times 0,12 \times 2400$$

$$= 1152 \text{ kg/m} = 1,152 \text{ T/m}$$

$$q_{\text{merata}} = 0,202 \text{ T/m} + 1,152 \text{ T/m}$$

$$= 1,354 \text{ T/m}$$

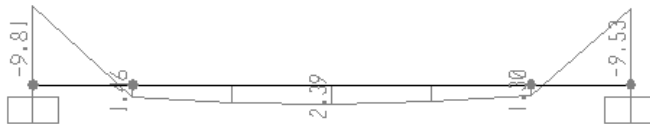
Ilustrasi pembebanan balok lift dapat dilihat pada gambar 5.23.



Gambar 5.23 Ilustrasi Pembebanan Balok Lift

- Analisa Gaya Dalam Balok Lift

Untuk mencari nilai gaya dalam pada balok lift digunakan program bantu analisis karena perletakkannya dianggap terjepit pada kedua sisinya, dan penyelesaian analisis gaya dalamnya tidak dapat diselesaikan secara sederhana karena balok tersebut tergolong mekanika statis tak tentu, sehingga didapatkan gaya dalam seperti pada Gambar 5.24 untuk momen dan Gambar 5.25 untuk gaya geser.



Gambar 5.24 Momen Balok lift Kombinasi 1,4D (T.m)

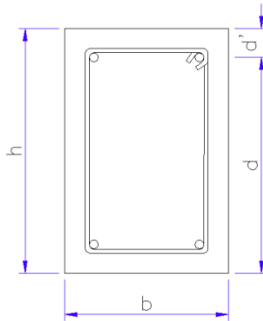


Gambar 5.25 Geser Balok lift Kombinasi 1,4D (T)

5.5.3 Penulangan Balok Lift

Perhitungan Penulangan balok lift ini direncanakan sesuai SNI 1727-2013, seperti berikut.

- Data Perencanaan
Dimensi balok lift dapat ditunjukkan pada gambar 5.26.



Gambar 5.26 Dimensi Balok Lift

- Dimensi balok = $300 \times 400 \text{ mm}^2$
- Panjang balok = 3000 mm
- Sel. beton (d) = 40 mm
- D Tul. Lentur = 16 mm ($A_s = 201,1 \text{ mm}^2$)
- \emptyset Tul. Pembagi = 13 mm ($A_s = 132,7 \text{ mm}^2$)
- $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$
 $= 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7}$
 $= 0,754$
- Tebal manfaat :
 $d' = h_{\text{balok}} - \text{Sel. beton} - D \text{ Tul.} - \frac{1}{2} D \text{ Tul.}$
 $= 400 - 40 - 13 - \frac{1}{2}(16)$
 $= 339 \text{ mm}$
- $d'' = \text{Sel. beton} + D \text{ Tul.} + \frac{1}{2} D \text{ Tul.}$
 $= 40 + 13 + \frac{1}{2}(16)$
 $= 61 \text{ mm}$

- Perhitungan Kebutuhan Penulangan Transversal
Kebutuhan penulangan balok lift ditinjau tiap per-1m (1000 mm) balok beton.

Tumpuan A

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\ &= \frac{9,81 \times 10^7}{0,9 \times 1000 \times 339^2} \\ &= 0,95 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

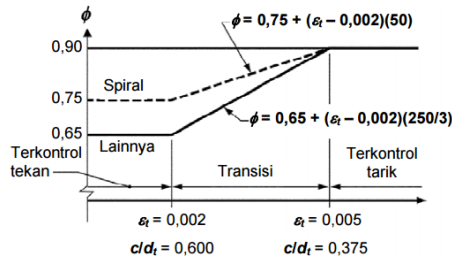
$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\ &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\ &= 11,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 0,95}{390}} \right) \\ &= 0,0025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 339 \\ &= 835,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.27.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$

Gambar 5.27 Zona Batas Regangan dan variasi factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto e_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{835,8 x 390}{0,85 x 41,5 x 1000} \\
 &= 9,241 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{9,241}{0,754} = 12,263 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 339 = 127,13 \text{ mm}$$

Maka, $12,263 \text{ mm} \leq 127,13 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{9,81 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(339 - \frac{9,241}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 835,8 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25 x \sqrt{f'c}}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{0,25 x \sqrt{41,5}}{390} x 300 x 339 \\ &= 420 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{1,4}{390} x 300 x 339 \\ &= 365,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } A_{s \text{ Min.}} &\leq A_{s \text{ Perlu}} \\ 420 \text{ mm}^2 &\leq 835,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Perlu}} = 835,8 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{835,8}{201,06} = 4,16 \approx 5 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - (2xd) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{300 - (2x40) - (5x16) - (2x13)}{5 - 1} \\ &\approx 28,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang satu lapis, dengan jumlah tulangan 5D16.

Lapangan A-B

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\ &= \frac{2,38 \times 10^7}{0,9 \times 1000 \times 339^2} \\ &= 0,231 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\ &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\ &= 11,06 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 0,231}{390}} \right)$$

$$= 0,0006$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0006 \times 1000 \times 339 \\ &= 201,01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 5.27. Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\ &= \frac{201,01 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 1000} \\ &= 2,22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,22}{0,754} = 2,95 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 339 = 127,13 \text{ mm}$$

Maka, $2,95 \text{ mm} \leq 127,13 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{M_u}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{2,38 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(339 - \frac{2,22}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 201,01 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{0,25x\sqrt{41,5}}{390} x 300 x 339 \\ &= 420 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\ &= \frac{1,4}{390} x 300 x 339 \\ &= 365,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } A_{s \text{ Min.}} &\leq A_{s \text{ Perlu}} \\ 420 \text{ mm}^2 &\geq 201,01 \text{ mm}^2 \quad (\text{NOT OK}) \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Minimum}} = 420 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{420}{201,06} = 2,09 \approx 3 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_w - (2x d) - (N x D_{\text{tul}}) - (2x \phi)}{N - 1} \\ &= \frac{300 - (2x 40) - (3x 16) - (2x 13)}{3 - 1} \\ &\approx 73 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang satu lapis, dengan jumlah tulangan 3D16.

Tumpuan B

Kebutuhan tulangan untuk tumpuan B disamakan dengan kebutuhan pada tumpuan A yaitu sebesar 5D16.

- Menentukan Tulangan Geser Terpasang
Menentukan nilai V_u terjadi pada jarak d' dari muka tumpuan, seperti pada gambar 5.25.

$$\begin{aligned} V_u' &= \frac{V_u}{1,85} x (1,85 - d') \\ &= \frac{23040}{1,5} x (1,5 - 0,339) \\ &= 17833 \text{ kg} = 181969 \text{ N} \end{aligned}$$

→ Kuat geser beton

Kuat geser beton (V_c) untuk komponen struktur yang dikenai gaya lentur dan geser dihitung sesuai pasal 11.2.1.1.

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 x \lambda x f_c^{1/2} x b_w x d' \\ &= 0,17 x 1 x 41,5^{1/2} x 300 x 339 \\ &= 111376,59 \text{ N} \end{aligned}$$

→ Kontrol kekuatan penampang

Kontrol kekuatan penampang sesuai (pasal 11.4.7.1) tanpa memperhitungkan nilai kuat geser baja dan faktor reduksi (ϕ) diambil sesuai (pasal 9.3.2.3).

$$\begin{aligned} V_u' &< \phi.V_c \\ 181969 \text{ N} &< 0,75 x 111376,59 \text{ N} \\ 181969 \text{ N} &> 83532,44 \text{ N (NOT OK)} \end{aligned}$$

Jadi penampang perlu ditinjau terhadap kuat geser baja yang tercantum dalam pasal 11.4.7.2.

→ Kebutuhan tulangan geser

Kebutuhan tulangan geser minimum mengacu pada (pasal 11.4.6.1).

$$\begin{aligned} V_u' &> 0,5.\phi.V_c \\ 181969 \text{ N} &> 0,5 x 0,75 x 111376,59 \text{ N} \end{aligned}$$

$$181969 \text{ N} < 41766,22 \text{ N (NOT OK)}$$

Jadi penampang balok anak menggunakan tulangan geser minimum.

$$\begin{aligned} A_{v \min} &= 2 \times A_{s \text{ tul}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol spasi tulangan geser

Spasi tulangan geser didapat dari penjabaran rumus pada (pasal 11.4.6.3) dan syarat spasi minimum pada (pasal 11.4.5.1), dimana nilainya diambil yang menentukan.

$$A_{v \min} = 0,062 x \sqrt{f'c} x \left(\frac{bwxS}{f_yt} \right)$$

$$265,46 = 0,062 x \sqrt{41,5} x \left(\frac{300 x S}{390} \right)$$

$$S = 864,04 \text{ mm}$$

$$A_{v \min} = \frac{0,35 x bwxS}{f_yt}$$

$$265,46 = \frac{0,35 x 300 x S}{390}$$

$$S = 986,01 \text{ mm}$$

Kontrol terhadap spasi minimum;

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

$$S \leq d/2 = 339/2 = 169,5 \approx 160 \text{ mm}$$

Kuat geser baja :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v x f_yt x d'}{S} \\ &= \frac{265,46 x 390 x 339}{160} \\ &= 219352,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } Vu' &\leq \phi \cdot V_n \\ 181969 \text{ N} &< 0,75 \times (111376,59 + 219352,92) \\ 181969 \text{ N} &< 248047,133 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka digunakan sengkang 2 kaki D13 – 160 mm pada daerah tumpuan dan 2 kaki D13 – 300 mm pada daerah lapangan balok anak.

- Kontrol Jarak Tulangan Terhadap Kontrol Retak
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, tidak boleh melebihi dari (pasal 10.6.4).

$$C_c = d + \phi_{tul} = 40 + 16 = 56 \text{ mm}$$

$$f_s = 2/3 \times f_y = 2/3 \times 390 = 260 \text{ Mpa}$$

Maka,

$$\begin{aligned} S &= 380 \times \left(\frac{280}{f_s} \right) - (2,5 \times C_c) \\ &= 380 \times \left(\frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 56) \\ &= 269 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

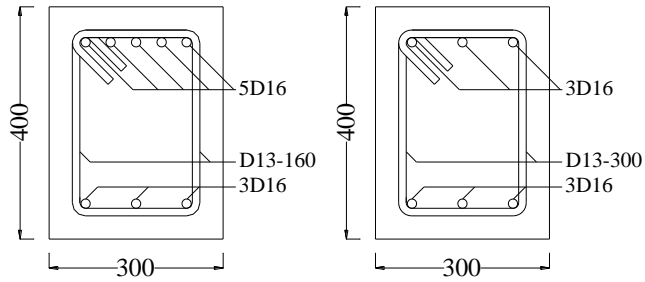
Dan tidak lebih dari,

$$\begin{aligned} S &= 300 \times \left(\frac{280}{f_s} \right) \\ &= 300 \times \left(\frac{280}{260} \right) \\ &= 323 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, Balok Anak memenuhi syarat jarak tulangan terhadap kontrol retak.

- Tulangan Terpasang
Tumpuan A = 5D16
Lapangan A-B = 3D16
Tumpuan B = 5D16
Geser = 2 kaki D13 – 160 mm (Tumpuan)
= 2 kaki D13 – 300 mm (Lapangan)

- **Sketsa Penulangan Balok Lift**
Gambar penulangan balok lift ditunjukkan pada gambar 5.28.



Gambar 5.28 Gambar Penulangan Balok Lift

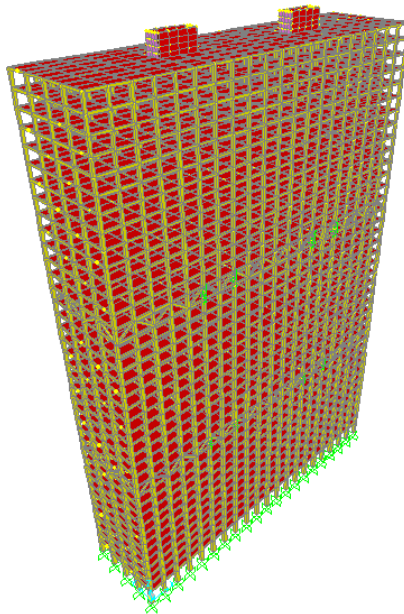
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR

6.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan adalah tahap awal dari perencanaan untuk mendapatkan gaya dalam elemen struktur yang digunakan untuk mendesain kebutuhan tulangan dan penampang elemen struktur yang ditinjau. Untuk memodelkan bangunan digunakan program bantu analisa struktur (SAP). Setelah dimodelkan, pemodelan dibebani sesuai dengan perencanaan. Kemudian dilakukan analisa struktur sebagai kontrol sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012. Untuk pemodelan bangunan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar 6.1.



Gambar 6.1 Pemodelan Desain Modifikasi Struktur

6.2 Pembebanan

Setelah membuat pemodelan seperti pada gambar 6.1, tahap selanjutnya adalah melakukan analisa pembebanan yang akan di-*input* ke dalam pemodelan yang sudah dibuat. Beban – beban yang akan di-*input* meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Berikut ini adalah analisa pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2012, SNI 1727:2013, dan PPIUG 87.

5.4.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri bangunan (*self weight*) dan beban mati tambahan (*superimposed dead load*). Untuk berat sendiri bangunan akan dihitung secara otomatis oleh program bantu analisa struktur. Sementara untuk beban mati tambahan adalah beban yang harus di-*input* secara manual pada pemodelan, baik itu pada pelat lantai maupun pada balok. Untuk beban mati tambahan bisa dilihat pada tabel 6.1 dan 6.2.

Tabel 6.1 Beban Mati Tambahan Lt. 40 (per-m²)

| Nama Beban | h (cm) | Bj | Total (Kg/m ²) |
|---------------------|-----------|----|-------------------------------|
| Aspal | 5 | 14 | 70 |
| Instalasi | - | 40 | 40 |
| Penggantung plafond | - | 7 | 7 |
| plafond | - | 11 | 11 |

Tabel 6.2 Beban Mati Tambahan Lt. 1-39 (per-m²)

| Nama Beban | h (cm) | Bj | Total (Kg/m ²) |
|---------------------|-----------|----|-------------------------------|
| Spesi | 2 | 21 | 42 |
| Keramik | 1 | 24 | 24 |
| Instalasi | - | 40 | 40 |
| Penggantung plafond | - | 7 | 7 |
| plafond | - | 11 | 11 |

5.4.2 Beban Hidup

Sesuai dengan SNI 1727-2013 Tabel 4-1 untuk hunian apartemen beban hidup merata bisa diambil $1,92 \text{ kN/m}^2$ ($195,72 \text{ Kg/m}^2$), dan beban hidup atap sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$ ($87,054 \text{ Kg/m}^2$). Beban hidup boleh direduksi sebesar 0,5 sesuai dengan SNI 1726-2012 Ps. 4.2.2. Sehingga rincian beban hidup lantai pada bangunan dapat dilihat pada tabel 6.3.

Tabel 6.3 Beban Hidup pada Lantai (per- m^2)

| Lantai | Lebar (m) | Panjang (m) | LL (Kg/m^2) | LL.0,5 (Kg/m^2) |
|------------|-----------|-------------|------------------------|----------------------------|
| Atap | 30 | 80 | 87,054 | 43,53 |
| Apartement | 30 | 80 | 195,72 | 97,86 |
| Outtrigger | 30 | 80 | 87,054 | 43,53 |

5.4.3 Beban Angin

Untuk beban angin dapat diambil dari BMKG untuk wilayah Kota Surabaya. Dimana didapat kecepatan angin untuk wilayah Kota Surabaya rata – rata 6,4 Knot, dengan kecepatan maksimum 20,3 Knot. Diambil yang menentukan $20,3 \text{ Knot} = 23,3608 \text{ Mph} \approx 25 \text{ Mph}$. Sehingga data angin yang digunakan untuk di-*input* ke pemodelan adalah 25 Mph.

5.4.4 Beban Gempa

Pembebanan gempa direncanakan menggunakan gempa dinamik. Dimana untuk tahap perencanaan secara manual sesuai dengan yang tercantum pada sub-bab 2.3.4. Namun pada bab ini akan dijelaskan merencanakan beban gempa menggunakan Puskim. Kelebihan perencanaan menggunakan Puskim adalah lebih mudah dan lebih akurat, karena tidak perlu melihat peta gempa dan melakukan interpolasi tabel. Berikut adalah tahap – tahap perencanaan:

- Menentukan kelas situs tanah

Pada Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya ini, terdapat 3 titik *Bore Log*. Dimana data *Bore Log* adalah salah satu acuan untuk mengetahui kelas situs tanah. Dengan menggunakan persamaan 2-1 dan melihat tabel 6.4 maka nilai \bar{N} dapat diketahui.

Tabel 6.4 Data N_{SPT} DB-1

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | d_i | N_i | $\frac{d_i}{\bar{N}_i}$ |
|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------|
| 0 | Fill (sand and gravel) | 1,5 | 3 | 0,5 |
| 1,5 | | | | |
| 3,5 | Clay and silt, very soft | 2 | 0 | 0 |
| 5,5 | | 2 | 0 | 0 |
| 7,5 | | 2 | 0 | 0 |
| 9,5 | | 2 | 0 | 0 |
| 11,5 | Sand and silt, dense | 2 | 31 | 0,06 |
| 13,5 | Sand, some silt | 2 | 16 | 0,13 |
| 15,5 | Silt and clay, very stiff | 2 | 15 | 0,13 |
| 17,5 | Sand, medium to dense | 2 | 16 | 0,13 |
| 19,5 | | 2 | 34 | 0,06 |
| 21,5 | Clay and silt, trace sand | 2 | 35 | 0,06 |
| 23,5 | Sand and silt, medium to dense | 2 | 35 | 0,06 |
| 25,5 | | 2 | 27 | 0,07 |
| 27,5 | Silt and sand, medium | 2 | 28 | 0,07 |
| 29,5 | | 2 | 23 | 0,09 |
| 31,5 | Clay and silt, very stiff | 2 | 26 | 0,08 |
| 33,5 | | 2 | 25 | 0,08 |
| 35,5 | | 2 | 25 | 0,08 |
| 37,5 | | 2 | 32 | 0,06 |
| 39,5 | Sand, grey, very dense | 2 | 50 | 0,04 |
| 41,5 | | 2 | 50 | 0,04 |
| 43,5 | Sand, dark grey, very dense | 2 | 50 | 0,04 |
| Σ | | 43,5 | 521 | 1,77 |

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{Ni}} = \frac{43,5}{1,77} = 24,54$$

Berdasarkan tabel 2.3 klasifikasi situs tanah:

$$15 \leq \bar{N} \leq 50$$

$$15 \leq 24,54 \leq 50$$

Maka tanah tergolong tanah sedang (SD).

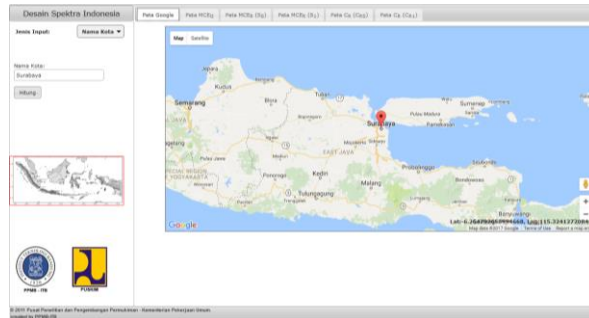
Dengan cara yang sama, kelas situs tanah dari seluruh titik Bore Log lainnya dapat dilihat pada tabel 6.5. Pada tabel tersebut terlihat bahwa terdapat kelas situs (SE) yang merupakan kategori dari tanah lunak, oleh karena itu kategori untuk kelas situs pada perhitungan gempa ini menggunakan kategori SE (tanah lunak).

Tabel 6.5 Resume Nilai \bar{N} Tiap Titik

| Titik | di | Ni | $\Sigma di/Ni$ | \bar{N} | Kelas Situs |
|-------|------|-----|----------------|-----------|-------------|
| DB-1 | 43,5 | 521 | 1,77 | 24,54 | SD |
| DB-2 | 41,5 | 416 | 1,82 | 22,7 | SD |
| DB-3 | 41,5 | 433 | 3,29 | 12,6 | SE |

- Masuk ke website puskim.pu.go.id

Setelah didapat kelas situs tanah, tahap selanjutnya adalah masuk ke website puskim. Kemudian akan muncul tampilan seperti pada gambar 6.2, pilih kota surabaya dan masukan kelas situs tanah lunak (SE).



Gambar 6.2 Tampilan WEB Puskim dan Lokasi Kota Surabaya

- Output parameter gempa dari puskim
Setelah didapat nilai – nilai parameter gempa seperti pada tabel 6.6, maka nilai – nilai tersebut dapat di-*input* ke program bantu analisa struktur sebagai beban gempa.

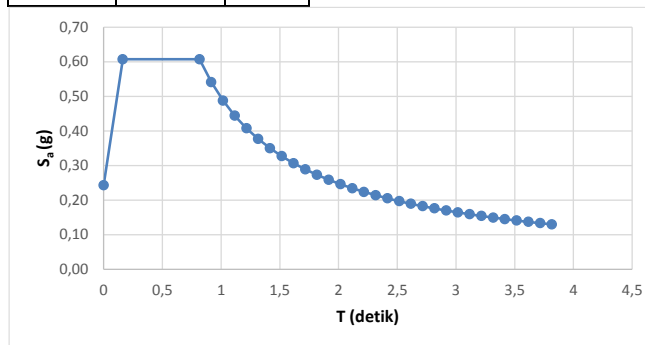
Tabel 6.6 Ouput nilai - nilai parameter gempa

| Variabel | Nilai |
|--------------|-------|
| S_s (g) | 0,663 |
| S_1 (g) | 0,247 |
| F_A | 1,374 |
| F_V | 3,012 |
| S_{MS} (g) | 0,911 |
| S_{M1} (g) | 0,744 |
| S_{DS} (g) | 0,607 |
| S_{D1} (g) | 0,496 |
| T_a | 2,383 |
| T_0 | 0,163 |
| T_s | 0,817 |

- Kurva respon desain
Sehingga didapat kurva respon desain seperti pada gambar 6.3 dari nilai yang tercantum pada tabel 6.7.

Tabel 6.7 Spektrum respons percepatan desain

| T (detik) | T (detik) | S _a (g) | T (detik) | T (detik) | S _a (g) |
|----------------------|--------------|--------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0,24 | T _s + 1,5 | 2,317 | 0,21 |
| T ₀ | 0,163 | 0,61 | T _s + 1,6 | 2,417 | 0,21 |
| T _s | 0,817 | 0,61 | T _s + 1,7 | 2,517 | 0,20 |
| T _s + 0,1 | 0,917 | 0,54 | T _s + 1,8 | 2,617 | 0,19 |
| T _s + 0,2 | 1,017 | 0,49 | T _s + 1,9 | 2,717 | 0,18 |
| T _s + 0,3 | 1,117 | 0,44 | T _s + 2,0 | 2,817 | 0,18 |
| T _s + 0,4 | 1,217 | 0,41 | T _s + 2,1 | 2,917 | 0,17 |
| T _s + 0,5 | 1,317 | 0,38 | T _s + 2,2 | 3,017 | 0,16 |
| T _s + 0,6 | 1,417 | 0,35 | T _s + 2,3 | 3,117 | 0,16 |
| T _s + 0,7 | 1,517 | 0,33 | T _s + 2,4 | 3,217 | 0,15 |
| T _s + 0,8 | 1,617 | 0,31 | T _s + 2,5 | 3,317 | 0,15 |
| T _s + 0,9 | 1,717 | 0,29 | T _s + 2,6 | 3,417 | 0,15 |
| T _s + 1,0 | 1,817 | 0,27 | T _s + 2,7 | 3,517 | 0,14 |
| T _s + 1,1 | 1,917 | 0,26 | T _s + 2,8 | 3,617 | 0,14 |
| T _s + 1,2 | 2,017 | 0,25 | T _s + 2,9 | 3,717 | 0,13 |
| T _s + 1,3 | 2,117 | 0,23 | T _s + 3,0 | 3,817 | 0,13 |
| T _s + 1,4 | 2,217 | 0,22 | | | |



Gambar 6.3 Kurva Respons Spektrum Desain

6.3 Analisa Struktur

Hasil analisa struktur perlu dikontrol dengan batasan – batasan yang telah ditetapkan pada SNI 1726:2012. Hal tersebut dilakukan untuk meninjau kelayakan struktur dalam memikul beban – beban yang bekerja. Berikut ini adalah kontrol – kontrol yang akan dilakukan terhadap hasil analisa struktur:

- Berat sendiri bangunan
- Jumlah respon ragam
- Perioda struktur dan skala gaya gempa
- Simpangan bangunan (*Drift*)
- Distribusi vertikal dan horisontal gaya gempa
- Pengaruh P-Delta

6.3.1 Berat sendiri bangunan

Tujuan menghitung berat sendiri bangunan secara manual adalah untuk dibandingkan dengan berat sendiri output SAP. Hal tersebut untuk memastikan beban yang di-*input* ke SAP sudah benar. Toleransi selisih antara perhitungan manual dan output tidak boleh lebih dari 10%. Berikut ini adalah data – data yang diperlukan untuk menghitung berat sendiri bangunan.

- Luas bangunan : 20 m x 80 m = 1600 m²
- BJ beton : 2400 Kg/m³
- BJ profil : 172 Kg/m
- *BeltbTruss* : WF 400 x 400 x 13 x 2 (L = 5m)
- Balok →
 - BI_{mem.} : 0,3 m x 0,4 m
 - BI_{mel.} : 0,3 m x 0,4 m
 - BA : 0,2 m x 0,3 m
- Kolom →
 - Lt. 1-5 : 0,85 m x 0,85 m
 - Lt. 6-10 : 0,8 m x 0,8 m
 - Lt. 11-15 : 0,75 m x 0,75 m
 - Lt. 16-20 : 0,7 m x 0,7 m
 - Lt. 21-25 : 0,65 m x 0,65 m
 - Lt. 26-30 : 0,6 m x 0,6 m

- Lt. 31-35 : 0,55 m x 0,55 m
 Lt. 36-39 : 0,5 m x 0,5 m
- Pelat → Lantai :
 S1 → $t = 0,12$ m
 $P = 5$ m
 $L = 2,5$ m
 S2 → $t = 0,12$ m
 $P = 5$ m
 $L = 3,5$ m
 Atap :
 S3 → $t = 0,12$ m
 $P = 5$ m
 $L = 2,5$ m
 S4 → $t = 0,12$ m
 $P = 5$ m
 $L = 3,5$ m
 - *Shear Wall* → $t = 0,35$ m
 $P = 8$ m
 $L = 3$ m
 $H = 122$ m
 - *Outrigger* → $t = 0,3$ m
 $P = 8,5$ m
 $H = 3$ m

Sehingga didapat berat dan massa seluruh lantai seperti yang disajikan pada tabel 6.8. Untuk kemudian dibandingkan dengan hasil *output* ETABS yang disajikan pada tabel 6.9.

Tabel 6.8 Berat dan Massa Seluruh Lantai (Manual)

| Keterangan | Dimensi (m) | | | Vol. (m ²) | Berat | | | | Sat. |
|------------|-------------|-----|------|---------------------------|-------|-----|-----------------|-------|------|
| | P | L | T | | n | BJ | $\frac{n}{Lt.}$ | W | |
| Pelat S1 | 4 | 2,5 | 0,12 | 1,2 | 144 | 2,4 | 38 | 15759 | Ton |
| Pelat S2 | 4 | 3,5 | 0,12 | 1,68 | 8 | 2,4 | 38 | 1226 | Ton |
| Pelat S3 | 4 | 2,5 | 0,12 | 1,2 | 144 | 2,4 | 1 | 414,7 | Ton |

| | | | | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|------|----|-----|----------|-------|-----|
| Pelat S4 | 4 | 3,5 | 0,12 | 1,68 | 8 | 2,4 | 1 | 32,26 | Ton |
| Blk. Mem | 4 | 0,3 | 0,4 | 0,48 | 96 | 2,4 | 39 | 4313 | Ton |
| Blk. Mel | 5 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 72 | 2,4 | 39 | 4044 | Ton |
| Blk. Mel | 3,5 | 0,3 | 0,4 | 0,42 | 12 | 2,4 | 39 | 471,7 | Ton |
| Blk. BA | 4 | 0,2 | 0,3 | 0,24 | 72 | 2,4 | 39 | 1617 | Ton |
| K-Lt.1-2 | 4 | 0,85 | 0,85 | 2,89 | 99 | 2,4 | 1 | 686,7 | Ton |
| K-Lt.2-5 | 3 | 0,85 | 0,85 | 2,17 | 99 | 2,4 | 4 | 2060 | Ton |
| K-Lt.6-10 | 3 | 0,8 | 0,8 | 1,92 | 99 | 2,4 | 5 | 2281 | Ton |
| K-Lt.11-15 | 3 | 0,75 | 0,75 | 1,69 | 99 | 2,4 | 5 | 2005 | Ton |
| K-Lt.16-20 | 3 | 0,7 | 0,7 | 1,47 | 99 | 2,4 | 5 | 1746 | Ton |
| K-Lt.21-25 | 3 | 0,65 | 0,65 | 1,27 | 99 | 2,4 | 5 | 1506 | Ton |
| K-Lt.26-30 | 3 | 0,6 | 0,6 | 1,08 | 99 | 2,4 | 5 | 1283 | Ton |
| K-Lt.31-35 | 3 | 0,55 | 0,55 | 0,91 | 99 | 2,4 | 5 | 1078 | Ton |
| K-Lt.36-39 | 3 | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 99 | 2,4 | 4 | 712,8 | Ton |
| SW1 Lt.1-2 | 4 | 22 | 0,35 | 30,8 | 2 | 2,4 | 1 | 147,8 | Ton |
| SW1 Lt.2-39 | 3 | 22 | 0,35 | 23,1 | 2 | 2,4 | 38 | 4213 | Ton |
| SW1 Lt.40 | 4 | 22 | 0,35 | 30,8 | 2 | 2,4 | 1 | 147,8 | Ton |
| Outrigger | 3 | 8,5 | 0,35 | 8,93 | 2 | 2,4 | 2 | 342,7 | Ton |
| Profil Baja | | 5 | | | 48 | 0,2 | 2 | 82,56 | Ton |
| Σ | | | | | | | 46170,69 | Ton | |

Tabel 6.9 Berat dan Massa Total (Output SAP)

| TABLE: Material List 2 - By Section Property | | | | |
|--|------------|-----------|-------------|-------------|
| Section | ObjectType | NumPieces | TotalLength | TotalWeight |
| Text | Text | Unitless | m | Tonf |
| 85/85 | Frame | 495 | 1584 | 2800.8096 |
| 80/80 | Frame | 495 | 1485 | 2325.9318 |
| B1 mem. 30/40 | Frame | 3744 | 14976 | 4398.1257 |
| B2 mel. 30/40 | Frame | 3276 | 15674.8 | 4603.348 |
| BA. 20/30 | Frame | 2808 | 11232 | 1649.2971 |
| 75/75 | Frame | 519 | 1485 | 2044.276 |
| 70/70 | Frame | 495 | 1485 | 1780.7916 |
| 65/65 | Frame | 495 | 1485 | 1535.4784 |
| 60/60 | Frame | 519 | 1485 | 1308.3367 |

| | | | | |
|-------------------------|-------|-----|-----------|------------|
| 55/55 | Frame | 495 | 1485 | 1099.3662 |
| 50/50 | Frame | 396 | 1188 | 726.8537 |
| 400x400x21x13 | Frame | 96 | 493.29523 | 83.0778 |
| Plat lantai t=12cm | Area | | | 16067.1378 |
| Plat Atap t=12 cm | Area | | | 422.8967 |
| SW-1 | Area | | | 4598.0227 |
| Plat lantai-2 t=12cm | Area | | | 1249.8947 |
| Plat Atap-2 t=12 cm | Area | | | 32.892 |
| Outrigger | Area | | | 345.3656 |
| Σ | | | | 47071.9021 |

Dari tabel 6.8 dan tabel 6.9, didapat:

$$W_{\text{manual}} = 46170,69 \text{ Ton}$$

$$W_{\text{ETABS}} = 47071,902 \text{ Ton}$$

Sehingga didapat selisih antara W_{manual} dan W_{SAP} sebesar 1,91%.

6.3.2 Jumlah Respon Ragam

Sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 Ps. 7.9.1 dimana respon ragam harus memenuhi minimal 90% dari massa aktual dalam masing – masing arah. Sedangkan jumlah respon ragam berdasar *output* SAP dapat dilihat pada tabel 6.10 berikut.

Tabel 6.10 Jumlah Respon Ragam dan Partisipasi Massa

| Mode | Sum UX | Sum UY |
|------|--------|--------|
| 101 | 0,992 | 0,995 |
| 102 | 0,992 | 0,996 |
| 103 | 0,993 | 0,996 |
| 104 | 0,993 | 0,997 |
| 105 | 0,994 | 0,998 |
| 106 | 0,994 | 0,998 |
| 107 | 0,995 | 0,998 |

| | | |
|-----|-------|-------|
| 108 | 0,996 | 0,998 |
| 109 | 0,996 | 0,999 |
| 110 | 0,996 | 0,999 |
| 111 | 0,996 | 0,999 |
| 112 | 0,997 | 0,999 |
| 113 | 0,997 | 0,999 |
| 114 | 0,997 | 0,999 |
| 115 | 0,997 | 0,999 |
| 116 | 0,997 | 0,999 |
| 117 | 0,999 | 0,999 |

Berdasarkan tabel 6.10 diatas menunjukkan bahwa pada mode ke-117 syarat partisipasi sebesar 99,9% telah memenuhi.

6.3.3 Periode Struktur dan Skala Gaya Gempa

Pada tahap perhitungan perioda struktur dan skala gaya gempa digunakan faktor reduksi gempa (R) sebesar 7, dan faktor keutamaan gempa (I_e) = 1. Penentuan perioda struktur akan berpengaruh pada skala gaya gempa, baik untuk desain maupun untuk kontrol simpangan antar lantai.

1. Untuk menentukan perioda fundamental struktur, harus sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 Ps. 7.8.2 yaitu disebutkan bila:

$T_c > C_u \times T_a$, maka digunakan $T = C_u \times T_a$

$T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka digunakan $T = T_c$

$T_c < T_a$, maka digunakan $T = T_a$

Dimana nilai T_a dihitung menggunakan persamaan 2-7 dan tabel 2.8, dengan tipe struktur “semua sistem struktur lainnya” sehingga didapat nilai $C_t = 0,0488$ dan nilai T_a ialah:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0488 \cdot 118^{0,75} = 1,75$$

Karena nilai $S_{D1} = 0,496$ dengan melihat Tabel 14 pada SNI 1726:2012 didapat nilai $C_u = 1,4$. Sehingga dapat dihitung nilai:

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,75 = 2,446 \text{ detik}$$

Nilai T_c didapat dari *output* SAP seperti yang ditampilkan pada tabel 6.11.

Tabel 6.11 Besaran Periode Struktural

| Mode | Period (detik) |
|------|----------------|
| 1 | 7,25 |
| 2 | 7,19 |
| 3 | 5,33 |

Dari tabel 6.11 sehingga didapat nilai:

$$T_c = 7,25 \rightarrow 7,25 > 2,446 \rightarrow T = 2,466 \text{ detik}$$

2. Menghitung geser dasar seismik menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.8.1 dimana $V = C_s \times W$. Sedangkan mencari koefisien respon seismik (C_s) sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.8.1.1 yaitu:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,087$$

Nilai C_s tidak perlu melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{2,466 \cdot \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,029$$

Cek:

$$C_s = 0,087 > 0,029 \rightarrow \text{maka pakai } 0,029$$

Dan tidak kurang dari:

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,6 \times 1 \geq 0,01 \\ &= 0,0267 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Cek:

$$C_s = 0,029 > 0,0267 \rightarrow \text{maka pakai } 0,029$$

Maka didapat nilai V :

$$V = C_s \times W_T = 0,029 \times 67069,932 = 1943,81 \text{ T}$$

3. Skala nilai desain sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 dimana $V_{\text{Dinamik}} \geq 0,85 \cdot V_{\text{Statik}}$. Bila lebih kecil maka harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V_{\text{Dinamik}}}{V_{\text{Statik}}}$. Dimana V_{Dinamik} didapat dari *output* SAP yang disajikan dalam tabel 6.12 berikut.

Tabel 6.12 V_{Dinamik} output SAP

| TABLE: Base Reactions | | | | |
|-----------------------|-------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | CaseType | StepType | GlobalFX | GlobalFY |
| Text | Text | Text | Tonf | Tonf |
| EX | LinRespSpec | Max | 1456.53 | 303.893 |
| EY | LinRespSpec | Max | 436.65 | 1013.702 |

Dari tabel 6.12 didapat:

$$V_{Dx} = 1456,53 \text{ Ton}$$

$$V_{Dy} = 1013,702 \text{ Ton}$$

Hitung nilai $0,85 \cdot V_{\text{Statik}}$:

$$V_{Sx} = 0,85 \cdot 1943,81 = 1645,063 \text{ T}$$

$$V_{Sy} = 0,85 \cdot 1943,81 = 1645,063 \text{ T}$$

Cek:

$$V_{Dx} \geq 0,85 \cdot V_{Sx} \rightarrow 1456,53 \text{ T} < 1645,063 \text{ T} (\text{Not Okay})$$

$$V_{Dy} \geq 0,85 \cdot V_{Sy} \rightarrow 1013,70 \text{ T} < 1645,063 \text{ T} (\text{Not Okay})$$

Karena syarat tidak terpenuhi maka harus dikalikan dengan skala gaya gempa sebesar:

$$V_{Dx} = \frac{1645,063}{1456,53} = 1,129$$

$$V_{Dy} = \frac{1645,063}{1013,7} = 1,624$$

Setelah didapat skala gaya gempa, nilai tersebut di-*dinput* ke SAP untuk kemudian dianalisa ulang. Sehingga didapat nilai V_{Dinamik} seperti pada tabel 6.13.

Tabel 6.13 V_{Dinamik} output SAP Setelah dikali Skala

| TABLE: Base Reactions | | | | |
|-----------------------|-------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | CaseType | StepType | GlobalFX | GlobalFY |
| Text | Text | Text | Tonf | Tonf |
| EX | LinRespSpec | Max | 1645.39 | 493.54 |
| EY | LinRespSpec | Max | 493.41 | 1645.221 |

Cek nilai V_{Dinamik} pada tabel 6.13:

$$V_{Dx} \geq 0,85 \cdot V_{Sx} \rightarrow 1645,39 \text{ T} > 1645,063 \text{ T (Okay)}$$

$$V_{Dy} \geq 0,85 \cdot V_{Sy} \rightarrow 1645,221 \text{ T} > 1645,063 \text{ T (Okay)}$$

Pada tabel 6.13 ditunjukkan nilai dari *base reaction* yang sudah memenuhi dari syarat pasal 7.9.4.1, sehingga analisa dapat dilanjutkan untuk kontrol simpangan bangunan.

6.3.4 Simpangan Bangunan (Drift)

Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.12.1 simpangan antar lantai harus memenuhi $\Delta < \Delta_a$. Secara umum untuk menghitung simpangan sesuai SNI 1726:2012 Ps. 7.8.6 digunakan persamaan:

$$\Delta = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Sedangkan untuk menghitung simpangan antar lantai, dapat digunakan pendekatan seperti yang dijelaskan pada SNI 1726:2012 Gbr. 5 Ps. 7.9.3 yaitu:

Perpindahan Δ_i tingkat 1:

$$\Delta_1 = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Perpindahan Δ_i tingkat 2:

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} x \frac{C_d}{I_e}$$

Dimana:

δ_{e1} = Simpangan akibat beban gempa di tingkat lantai ke-1

δ_{e2} = Simpangan akibat beban gempa di tingkat lantai ke-2

C_d = Faktor pembesaran defleksi = 5 ($R = 7$)

I_e = Faktor keutamaan gedung = 1

Simpangan yang terjadi harus lebih kecil dari simpangan ijin yang ditentukan pada SNI 1726:2012 Ps. 7.12.1 tabel 16 mengasumsikan bangunan termasuk “semua struktur lainnya” dengan nilai $\Delta_a = 0,02 \times h_{sx}$

Dari *output* SAP dan perhitungan menggunakan rumus di atas maka dapat dilakukan analisa kontrol simpangan antar lantai akibat gempa dinamik arah X dan arah Y. Hasil analisa disajikan dalam tabel 6.14 dan tabel 6.15, dan gambar 6.4 menunjukkan grafik simpangan arah X – arah Y dan simpangan ijin.

Tabel 6.14 Simpangan Antar Lantai Arah X Sebelum ada Outrigger

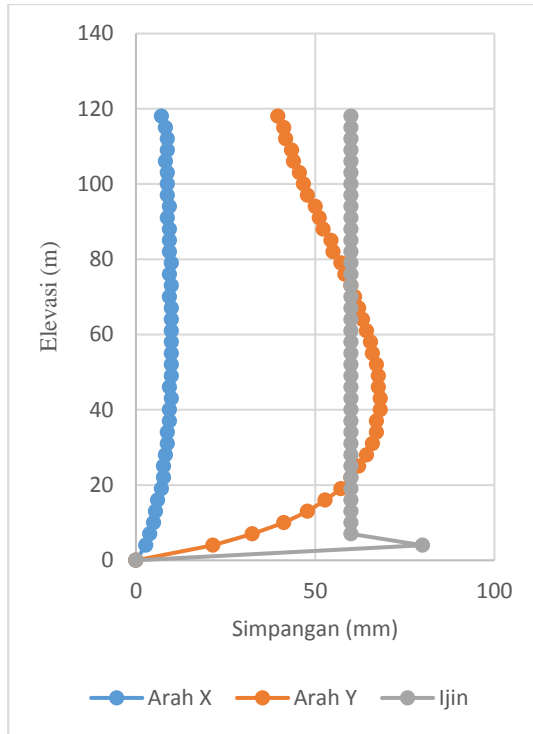
| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{xi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 0,5 | 0,5 | 2,75 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 1,2 | 0,7 | 3,85 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 2,1 | 0,9 | 4,95 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 3,1 | 1 | 5,5 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 4,2 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 5,5 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 6,9 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 8,3 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 9,8 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 11,4 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 13 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 14,7 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 16,4 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|------|-----|------|----|------|
| 15 | 3 | 43 | 18,2 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 19,9 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 21,7 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 23,5 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 25,3 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 27,1 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 28,9 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 30,7 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 32,5 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 34,2 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 36 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 37,7 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 39,5 | 1,8 | 9,35 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 41,2 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 42,9 | 1,7 | 8,8 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 44,6 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 46,2 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 47,9 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 49,5 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 51,1 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 52,7 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 54,2 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 55,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 57,4 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 58,9 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 60,2 | 1,5 | 7,15 | 60 | Okay |

Tabel 6.15 Simpangan Antar Lantai Arah Y Sebelum ada Outrigger

| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{yi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 3,9 | 3,9 | 21,45 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 9,8 | 5,9 | 32,45 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 17,3 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 26 | 8,7 | 47,85 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 35,6 | 9,6 | 52,8 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 46 | 10,4 | 57,2 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 56,9 | 10,9 | 59,95 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 68,2 | 11,3 | 62,15 | 60 | Not |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|-------|------|-------|----|------|
| 10 | 3 | 28 | 79,9 | 11,7 | 64,35 | 60 | Not |
| 11 | 3 | 31 | 91,9 | 12 | 66 | 60 | Not |
| 12 | 3 | 34 | 104,1 | 12,2 | 67,1 | 60 | Not |
| 13 | 3 | 37 | 116,3 | 12,2 | 67,1 | 60 | Not |
| 14 | 3 | 40 | 128,7 | 12,4 | 68,2 | 60 | Not |
| 15 | 3 | 43 | 141,1 | 12,4 | 68,2 | 60 | Not |
| 16 | 3 | 46 | 153,4 | 12,3 | 67,65 | 60 | Not |
| 17 | 3 | 49 | 165,7 | 12,3 | 67,65 | 60 | Not |
| 18 | 3 | 52 | 177,9 | 12,2 | 67,1 | 60 | Not |
| 19 | 3 | 55 | 189,9 | 12 | 66 | 60 | Not |
| 20 | 3 | 58 | 201,8 | 11,9 | 65,45 | 60 | Not |
| 21 | 3 | 61 | 213,5 | 11,7 | 64,35 | 60 | Not |
| 22 | 3 | 64 | 225 | 11,5 | 63,25 | 60 | Not |
| 23 | 3 | 67 | 236,3 | 11,3 | 62,15 | 60 | Not |
| 24 | 3 | 70 | 247,4 | 11,1 | 61,05 | 60 | Not |
| 25 | 3 | 73 | 258,3 | 10,9 | 59,95 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 268,9 | 10,6 | 58,3 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 279,3 | 10,4 | 57,2 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 289,3 | 10 | 55 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 299,2 | 9,9 | 54,45 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 308,7 | 9,5 | 52,25 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 318 | 9,3 | 51,15 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 327,1 | 9,1 | 50,05 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 335,8 | 8,7 | 47,85 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 344,3 | 8,5 | 46,75 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 352,6 | 8,3 | 45,65 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 360,6 | 8 | 44 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 368,5 | 7,9 | 43,45 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 376,1 | 7,6 | 41,8 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 383,6 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 390,8 | 7,2 | 39,6 | 60 | Okay |



Gambar 6.4 Grafik Simpangan Akibat Gempa Tanpa *Outrigger*

Pada gambar 6.4 ditunjukkan simpangan akibat gempa tanpa *outrigger*, karena simpangan yang melebihi ijin maka gedung apartement PDH ini memerlukan *outrigger* pada letak yang tepat untuk mengurangi simpangannya. Sehingga estimasi penempatan perlu ditentukan untuk mendapatkan lokasi yang tepat.

Estimasi penempatan Outrigger :

Estimasi penempatan outrigger pertama yaitu menggunakan satu outrigger di Lt.15 dengan hasil yang didapat seperti pada tabel 6.16, 6.17 dan gambar 6.5.

Tabel 6.16 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 1 Outrigger

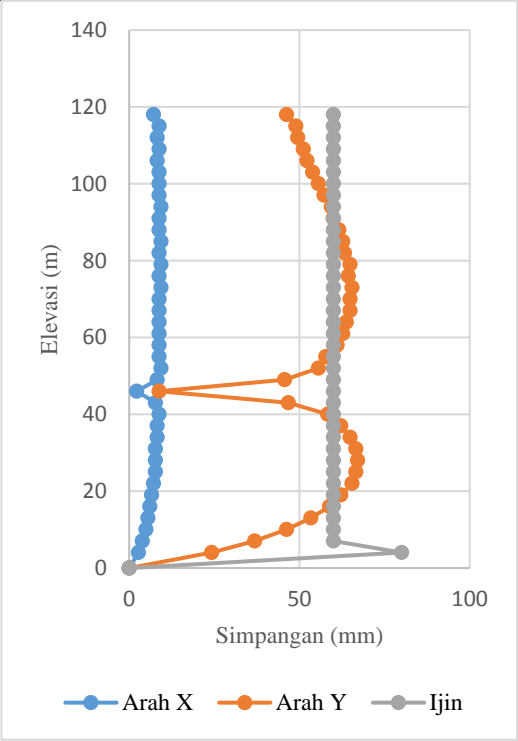
| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{xi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 2,75 | 0,5 | 2,75 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 3,85 | 0,7 | 3,85 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 4,95 | 0,9 | 4,95 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 5,5 | 1 | 5,5 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 6,05 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 6,6 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 7,15 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 7,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 7,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 7,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 8,25 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 8,25 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 7,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 2,2 | 0,4 | 2,2 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 8,25 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 9,35 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 9,35 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 9,35 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 9,35 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 9,35 | 1,7 | 9,35 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|------|-----|------|----|------|
| 33 | 3 | 97 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 8,25 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 8,25 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 8,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 7,15 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |

Tabel 6.17 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 1 Outtrigger

| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{yi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 4,4 | 4,4 | 24,2 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 11,1 | 6,7 | 36,85 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 19,5 | 8,4 | 46,2 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 29,2 | 9,7 | 53,35 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 39,9 | 10,7 | 58,85 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 51,2 | 11,3 | 62,15 | 60 | Not |
| 8 | 3 | 22 | 63,1 | 11,9 | 65,45 | 60 | Not |
| 9 | 3 | 25 | 75,2 | 12,1 | 66,55 | 60 | Not |
| 10 | 3 | 28 | 87,4 | 12,2 | 67,1 | 60 | Not |
| 11 | 3 | 31 | 99,5 | 12,1 | 66,55 | 60 | Not |
| 12 | 3 | 34 | 111,3 | 11,8 | 64,9 | 60 | Not |
| 13 | 3 | 37 | 122,6 | 11,3 | 62,15 | 60 | Not |
| 14 | 3 | 40 | 133,2 | 10,6 | 58,3 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 141,7 | 8,5 | 46,75 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 143,3 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 151,6 | 8,3 | 45,65 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 161,7 | 10,1 | 55,55 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 172,2 | 10,5 | 57,75 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 183,3 | 11,1 | 61,05 | 60 | Not |
| 21 | 3 | 61 | 194,7 | 11,4 | 62,7 | 60 | Not |
| 22 | 3 | 64 | 206,3 | 11,6 | 63,8 | 60 | Not |
| 23 | 3 | 67 | 218,1 | 11,8 | 64,9 | 60 | Not |
| 24 | 3 | 70 | 229,9 | 11,8 | 64,9 | 60 | Not |
| 25 | 3 | 73 | 241,8 | 11,9 | 65,45 | 60 | Not |
| 26 | 3 | 76 | 253,5 | 11,7 | 64,35 | 60 | Not |
| 27 | 3 | 79 | 265,3 | 11,8 | 64,9 | 60 | Not |
| 28 | 3 | 82 | 276,8 | 11,5 | 63,25 | 60 | Not |
| 29 | 3 | 85 | 288,2 | 11,4 | 62,7 | 60 | Not |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|-------|------|-------|----|------|
| 30 | 3 | 88 | 299,4 | 11,2 | 61,6 | 60 | Not |
| 31 | 3 | 91 | 310,3 | 10,9 | 59,95 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 321,1 | 10,8 | 59,4 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 331,5 | 10,4 | 57,2 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 341,6 | 10,1 | 55,55 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 351,4 | 9,8 | 53,9 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 360,9 | 9,5 | 52,25 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 370,2 | 9,3 | 51,15 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 379,2 | 9 | 49,5 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 388,1 | 8,9 | 48,95 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 396,5 | 8,4 | 46,2 | 60 | Okay |



Gambar 6.5 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 1 Outrigger

Pada gambar 6.5 ditunjukkan simpangan akibat gempa dengan satu *outrigger*, dalam gambar tersebut simpangan yang terjadi pada arah Y masih melebihi dari ijin yang disyaratkan oleh karena itu penggunaan *outrigger* ditambah menjadi 2 dimana letak *outrigger* pertama diperkirakan pada lantai 9 dan *outrigger* kedua pada lantai 24 dengan hasil seperti pada tabel 6.18, 6.19 dan gambar 6.6.

Tabel 6.18 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 2 Outrigger

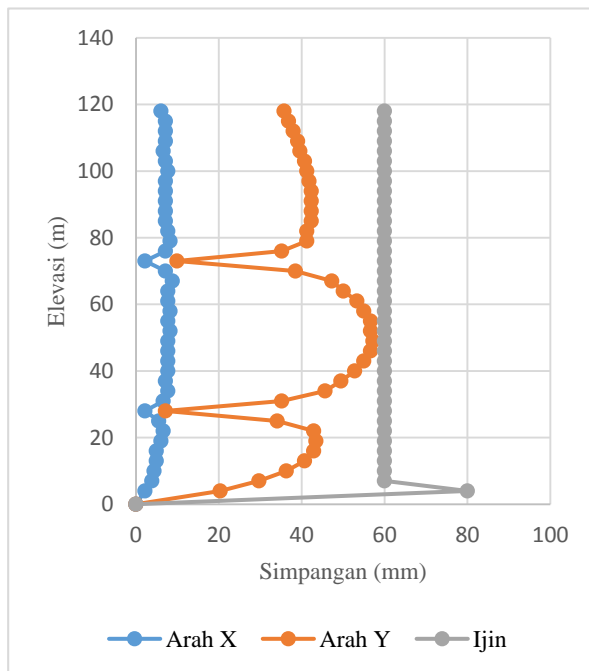
| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{xi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 2,2 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 1,1 | 0,7 | 3,85 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 1,9 | 0,8 | 4,4 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 2,8 | 0,9 | 4,95 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 3,7 | 0,9 | 4,95 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 4,8 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 6 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 7 | 1 | 5,5 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 7,4 | 0,4 | 2,2 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 8,6 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 10 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 11,3 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 12,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 14,1 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 15,5 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 16,9 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 18,4 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 19,8 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 21,3 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 22,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 24,1 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 25,7 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 27 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 27,4 | 0,4 | 2,2 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 28,7 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 30,2 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 31,6 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|------|-----|------|----|------|
| 29 | 3 | 85 | 32,9 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 34,2 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 35,5 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 36,8 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 38,1 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 39,5 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 40,8 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 42 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 43,3 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 44,6 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 45,9 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 47 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |

Tabel 6.19 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 2 Outrigger

| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{yi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 3,7 | 3,7 | 20,35 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 9,1 | 5,4 | 29,7 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 15,7 | 6,6 | 36,3 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 23,1 | 7,4 | 40,7 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 30,9 | 7,8 | 42,9 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 38,8 | 7,9 | 43,45 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 46,6 | 7,8 | 42,9 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 52,8 | 6,2 | 34,1 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 54,1 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 60,5 | 6,4 | 35,2 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 68,8 | 8,3 | 45,65 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 77,8 | 9 | 49,5 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 87,4 | 9,6 | 52,8 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 97,4 | 10 | 55 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 107,7 | 10,3 | 56,65 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 118,1 | 10,4 | 57,2 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 128,4 | 10,3 | 56,65 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 138,7 | 10,3 | 56,65 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 148,7 | 10 | 55 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 158,4 | 9,7 | 53,35 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 167,5 | 9,1 | 50,05 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 176,1 | 8,6 | 47,3 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 183,1 | 7 | 38,5 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 184,9 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|-------|-----|-------|----|------|
| 26 | 3 | 76 | 191,3 | 6,4 | 35,2 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 198,8 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 206,3 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 214 | 7,7 | 42,35 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 221,7 | 7,7 | 42,35 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 229,4 | 7,7 | 42,35 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 237,1 | 7,7 | 42,35 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 244,7 | 7,6 | 41,8 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 252,2 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 259,6 | 7,4 | 40,7 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 266,8 | 7,2 | 39,6 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 273,9 | 7,1 | 39,05 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 280,8 | 6,9 | 37,95 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 287,5 | 6,7 | 36,85 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 294 | 6,5 | 35,75 | 60 | Okay |



Gambar 6.6 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 2 Outrigger

Pada gambar 6.6 ditunjukkan simpangan akibat gempa dengan dua *outrigger*, dalam gambar tersebut simpangan yang terjadi pada bangunan sudah memenuhi namun masih dalam batas kritis karena mendekati dengan simpangan ijinnya yang memiliki selisih 2,8 mm dari ijin. Oleh karena itu penempatan *outrigger* dipindah dimana *outrigger* pertama dipindah pada lantai 15 dan *outrigger* kedua pada tingkat 30 sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 6.20, 6.21 dan gambar 6.7.

Tabel 6.20 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 2 Outrigger

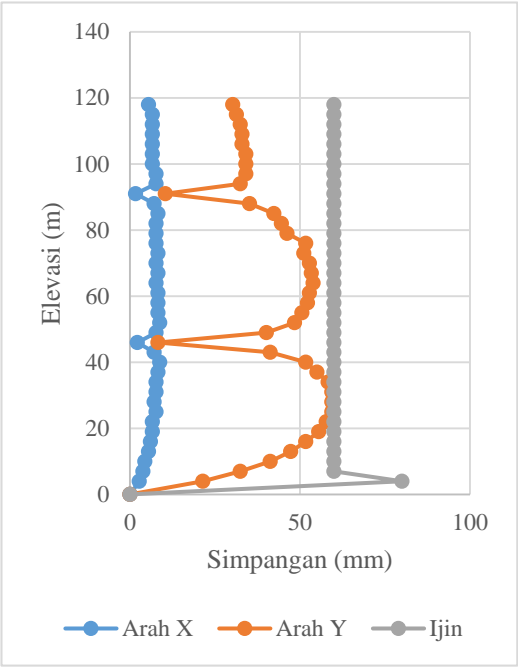
| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{xi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 0,5 | 0,5 | 2,75 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 1,2 | 0,7 | 3,85 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 2 | 0,8 | 4,4 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 3 | 1 | 5,5 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 4,1 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 5,3 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 6,5 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 7,9 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 9,2 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 10,6 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 12 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 13,5 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 15,1 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 16,4 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 16,8 | 0,4 | 2,2 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 18,2 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 19,8 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 21,3 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 22,8 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 24,3 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 25,7 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 27,2 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 28,6 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 30,1 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 31,5 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 32,9 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 34,3 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|------|-----|------|----|------|
| 29 | 3 | 85 | 35,8 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 37,1 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 37,4 | 0,3 | 1,65 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 38,8 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 40,2 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 41,4 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 42,6 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 43,8 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 45 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 46,2 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 47,4 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 48,4 | 1 | 5,5 | 60 | Okay |

Tabel 6.21 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 2 Outrigger

| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{yi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 3,9 | 3,9 | 21,45 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 9,8 | 5,9 | 32,45 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 17,3 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 25,9 | 8,6 | 47,3 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 35,3 | 9,4 | 51,7 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 45,4 | 10,1 | 55,55 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 55,9 | 10,5 | 57,75 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 66,7 | 10,8 | 59,4 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 77,5 | 10,8 | 59,4 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 88,3 | 10,8 | 59,4 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 98,9 | 10,6 | 58,3 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 108,9 | 10 | 55 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 118,3 | 9,4 | 51,7 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 125,8 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 127,3 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 134,6 | 7,3 | 40,15 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 143,4 | 8,8 | 48,4 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 152,6 | 9,2 | 50,6 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 162,1 | 9,5 | 52,25 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 171,7 | 9,6 | 52,8 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 181,5 | 9,8 | 53,9 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 191,2 | 9,7 | 53,35 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 200,8 | 9,6 | 52,8 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 210,1 | 9,3 | 51,15 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|-------|-----|-------|----|------|
| 26 | 3 | 76 | 219,5 | 9,4 | 51,7 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 227,9 | 8,4 | 46,2 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 236 | 8,1 | 44,55 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 243,7 | 7,7 | 42,35 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 250,1 | 6,4 | 35,2 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 252 | 1,9 | 10,45 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 257,9 | 5,9 | 32,45 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 264,1 | 6,2 | 34,1 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 270,3 | 6,2 | 34,1 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 276,5 | 6,2 | 34,1 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 282,5 | 6 | 33 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 288,5 | 6 | 33 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 294,4 | 5,9 | 32,45 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 300,1 | 5,7 | 31,35 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 305,6 | 5,5 | 30,25 | 60 | Okay |



Gambar 6.7 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 2 Outrigger

Pada gambar 6.7 ditunjukkan simpangan akibat gempa dengan dua *outrigger*, dalam gambar tersebut simpangan yang terjadi pada bangunan sudah memenuhi namun masih dalam batas kritis karena sangat mendekati dengan simpangan ijinnya yang memiliki selisih 0,6 mm dari ijin. Oleh karena itu penempatan *outrigger* diubah dimana *outrigger* pertama dipindah pada lantai 13 dan *outrigger* kedua pada tingkat 26 sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 6.22, 6.23 dan gambar 6.8.

Tabel 6.22 Simpangan Antar Lantai Arah X dengan 2 Outrigger

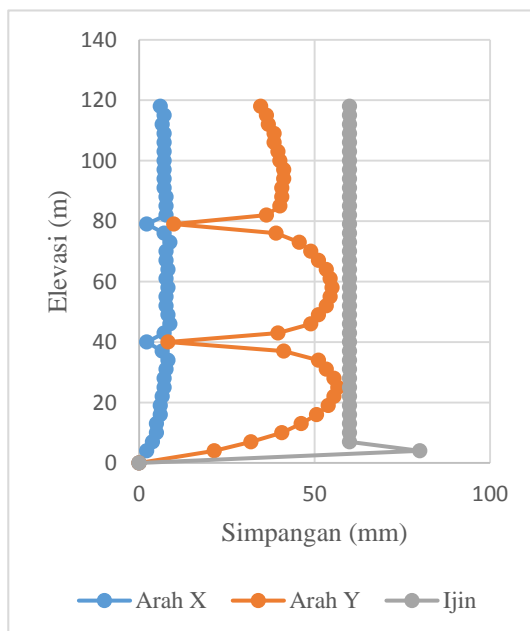
| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{xi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 2,2 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 1,1 | 0,7 | 3,85 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 2 | 0,9 | 4,95 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 2,9 | 0,9 | 4,95 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 4 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 5,1 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 6,3 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 7,6 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 8,9 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 10,3 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 11,8 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 13 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 13,4 | 0,4 | 2,2 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 14,7 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 16,3 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 17,8 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 19,2 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 20,6 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 22,1 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 23,5 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 25 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 26,4 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 27,8 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 25 | 3 | 73 | 29,4 | 1,6 | 8,8 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 30,7 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 31,1 | 0,4 | 2,2 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|------|-----|------|----|------|
| 28 | 3 | 82 | 32,5 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 33,9 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 35,3 | 1,4 | 7,7 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 36,6 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 37,9 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 39,2 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 40,5 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 41,8 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 43,1 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 44,4 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 45,6 | 1,2 | 6,6 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 46,9 | 1,3 | 7,15 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 48 | 1,1 | 6,05 | 60 | Okay |

Tabel 6.23 Simpangan Antar Lantai Arah Y dengan 2 Outtrigger

| Lantai | h_{sx} (m) | Elevasi (m) | Δ_{tot} (mm) | δ_{yi} (mm) | Δ (mm) | Δ_a (mm) | Cek $\Delta < \Delta_a$ |
|--------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Okay |
| 2 | 4 | 4 | 3,9 | 3,9 | 21,45 | 80 | Okay |
| 3 | 3 | 7 | 9,7 | 5,8 | 31,9 | 60 | Okay |
| 4 | 3 | 10 | 17,1 | 7,4 | 40,7 | 60 | Okay |
| 5 | 3 | 13 | 25,5 | 8,4 | 46,2 | 60 | Okay |
| 6 | 3 | 16 | 34,7 | 9,2 | 50,6 | 60 | Okay |
| 7 | 3 | 19 | 44,5 | 9,8 | 53,9 | 60 | Okay |
| 8 | 3 | 22 | 54,6 | 10,1 | 55,55 | 60 | Okay |
| 9 | 3 | 25 | 64,9 | 10,3 | 56,65 | 60 | Okay |
| 10 | 3 | 28 | 75 | 10,1 | 55,55 | 60 | Okay |
| 11 | 3 | 31 | 84,7 | 9,7 | 53,35 | 60 | Okay |
| 12 | 3 | 34 | 94 | 9,3 | 51,15 | 60 | Okay |
| 13 | 3 | 37 | 101,5 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 14 | 3 | 40 | 103 | 1,5 | 8,25 | 60 | Okay |
| 15 | 3 | 43 | 110,2 | 7,2 | 39,6 | 60 | Okay |
| 16 | 3 | 46 | 119,1 | 8,9 | 48,95 | 60 | Okay |
| 17 | 3 | 49 | 128,4 | 9,3 | 51,15 | 60 | Okay |
| 18 | 3 | 52 | 138,1 | 9,7 | 53,35 | 60 | Okay |
| 19 | 3 | 55 | 148 | 9,9 | 54,45 | 60 | Okay |
| 20 | 3 | 58 | 158 | 10 | 55 | 60 | Okay |
| 21 | 3 | 61 | 167,9 | 9,9 | 54,45 | 60 | Okay |
| 22 | 3 | 64 | 177,6 | 9,7 | 53,35 | 60 | Okay |
| 23 | 3 | 67 | 186,9 | 9,3 | 51,15 | 60 | Okay |
| 24 | 3 | 70 | 195,8 | 8,9 | 48,95 | 60 | Okay |

| | | | | | | | |
|----|---|-----|-------|-----|-------|----|------|
| 25 | 3 | 73 | 204,1 | 8,3 | 45,65 | 60 | Okay |
| 26 | 3 | 76 | 211,2 | 7,1 | 39,05 | 60 | Okay |
| 27 | 3 | 79 | 213 | 1,8 | 9,9 | 60 | Okay |
| 28 | 3 | 82 | 219,6 | 6,6 | 36,3 | 60 | Okay |
| 29 | 3 | 85 | 226,9 | 7,3 | 40,15 | 60 | Okay |
| 30 | 3 | 88 | 234,3 | 7,4 | 40,7 | 60 | Okay |
| 31 | 3 | 91 | 241,7 | 7,4 | 40,7 | 60 | Okay |
| 32 | 3 | 94 | 249,2 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 33 | 3 | 97 | 256,7 | 7,5 | 41,25 | 60 | Okay |
| 34 | 3 | 100 | 264 | 7,3 | 40,15 | 60 | Okay |
| 35 | 3 | 103 | 271,2 | 7,2 | 39,6 | 60 | Okay |
| 36 | 3 | 106 | 278,2 | 7 | 38,5 | 60 | Okay |
| 37 | 3 | 109 | 285,2 | 7 | 38,5 | 60 | Okay |
| 38 | 3 | 112 | 291,9 | 6,7 | 36,85 | 60 | Okay |
| 39 | 3 | 115 | 298,5 | 6,6 | 36,3 | 60 | Okay |
| 40 | 3 | 118 | 304,8 | 6,3 | 34,65 | 60 | Okay |



Gambar 6.8 Grafik Simpangan Akibat Gempa dengan 2 Outrigger

Pada gambar 6.8 ditunjukkan simpangan akibat gempa dengan dua *outrigger*, dalam gambar tersebut simpangan yang terjadi pada bangunan sudah memenuhi namun masih dalam batas kritis karena mendekati dengan simpangan ijinnya yang memiliki selisih 3,35 mm dari ijin. Dimana nilai tersebut lebih besar dari dua estimasi penempatan outrigger diatas. Maka dalam perencanaan ini digunakan dua outrigger pada lantai 13 dan 26.

6.3.5 Distribusi Vertikal dan Horizontal Gaya Gempa

Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.8.3 gaya gempa lateral (F_x) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan menggunakan persamaan:

$$F_{vx} = C_{vx} \cdot V$$

Dan,

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k}$$

Dimana:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

w_i & w_x = Berat seismik efektif total (W) pada tingkat i atau x

h_i & h_x = Tinggi dari dasar struktur sampai tingkat i atau x

k = Eksponen terkait perioda struktur

Untuk gaya gempa dengan perioda 2,466 detik nilai $k = 1,97$ (didapat dari interpolasi). Sedangkan menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.4 geser tingkat desain di semua tingkat (V_x) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_x = \sum_{i=x}^n Fi$$

Maka dari persamaan – persamaan di atas nilai F_x dan V_x dapat dihitung. Hasil perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk tabel 6.24 berikut:

Tabel 6.24 Nilai F dan V Struktur

| Lantai | h_i (m) | h_i^k (m) | w_i (T) | $w_i \cdot h^k$ (T.m) | C_{vx} | F_x (T) | V_x (T) |
|--------|--------------|----------------|--------------|--------------------------|----------|--------------|--------------|
| 1 | 0 | 0 | 417,25 | 0 | 0 | 0 | 1942,8 |
| 2 | 4 | 15,41 | 1969,01 | 30347,17 | 0,0001 | 0,218 | 1942,8 |
| 3 | 7 | 46,49 | 1892,51 | 87987,82 | 0,0003 | 0,631 | 1942,6 |
| 4 | 10 | 93,97 | 1892,51 | 177846,52 | 0,0007 | 1,276 | 1942,0 |
| 5 | 13 | 157,7 | 1863,10 | 293802,94 | 0,0011 | 2,108 | 1940,7 |
| 6 | 16 | 237,5 | 1863,28 | 442605,16 | 0,0016 | 3,176 | 1938,6 |
| 7 | 19 | 333,4 | 1834,05 | 611509,29 | 0,0023 | 4,388 | 1935,4 |
| 8 | 22 | 445,3 | 1834,05 | 816625,01 | 0,0030 | 5,860 | 1931,0 |
| 9 | 25 | 573 | 1834,05 | 1050893,8 | 0,0039 | 7,540 | 1925,2 |
| 10 | 28 | 716,6 | 1834,05 | 1314214,9 | 0,0049 | 9,430 | 1917,6 |
| 11 | 31 | 875,9 | 1806,61 | 1582459,9 | 0,0058 | 11,36 | 1908,2 |
| 12 | 34 | 1051 | 1779,16 | 1869976,7 | 0,0069 | 13,42 | 1896,8 |
| 13 | 37 | 1242 | 1688,68 | 2097113,2 | 0,0078 | 15,05 | 1883,4 |
| 14 | 40 | 1448 | 1857,33 | 2690083 | 0,0099 | 19,30 | 1868,4 |
| 15 | 43 | 1671 | 1779,16 | 2972093 | 0,011 | 21,33 | 1849,1 |
| 16 | 46 | 1908 | 1753,50 | 3346113,8 | 0,0124 | 24,01 | 1827,7 |
| 17 | 49 | 2162 | 1727,84 | 3734854,5 | 0,0138 | 26,80 | 1803,7 |
| 18 | 52 | 2430 | 1727,84 | 4199442,4 | 0,0155 | 30,13 | 1776,9 |
| 19 | 55 | 2715 | 1727,84 | 4690863,7 | 0,0173 | 33,66 | 1746,8 |
| 20 | 58 | 3015 | 1727,84 | 5209077,9 | 0,0192 | 37,38 | 1713,1 |
| 21 | 61 | 3330 | 1703,96 | 5674519,1 | 0,0210 | 40,72 | 1675,8 |
| 22 | 64 | 3661 | 1680,08 | 6150875,7 | 0,0227 | 44,13 | 1635,1 |
| 23 | 67 | 4007 | 1680,08 | 6732705,4 | 0,0249 | 48,31 | 1590,9 |
| 24 | 70 | 4369 | 1680,08 | 7340448,8 | 0,0271 | 52,67 | 1542,6 |
| 25 | 73 | 4746 | 1680,08 | 7974075,3 | 0,0295 | 57,22 | 1489,9 |
| 26 | 76 | 5139 | 1566,96 | 8052296,7 | 0,0297 | 57,78 | 1432,7 |
| 27 | 79 | 5547 | 1713,51 | 9504325 | 0,0351 | 68,20 | 1374,9 |
| 28 | 82 | 5970 | 1635,88 | 9766110,9 | 0,0361 | 70,08 | 1306,7 |
| 29 | 85 | 6409 | 1635,88 | 10483604 | 0,0387 | 75,22 | 1236,7 |
| 30 | 88 | 6862 | 1635,88 | 11226167 | 0,0415 | 80,55 | 1161,5 |
| 31 | 91 | 7332 | 1615,56 | 11844821 | 0,0438 | 84,99 | 1080,9 |
| 32 | 94 | 7816 | 1595,25 | 12468812 | 0,0461 | 89,47 | 995,9 |
| 33 | 97 | 8316 | 1595,25 | 13266140 | 0,0490 | 95,19 | 906,4 |
| 34 | 100 | 8831 | 1595,25 | 14087828 | 0,0520 | 101,1 | 811,3 |
| 35 | 103 | 9361 | 1595,25 | 14933857 | 0,0552 | 107,2 | 710,2 |
| 36 | 106 | 9907 | 1576,71 | 15620583 | 0,0577 | 112,1 | 603,01 |
| 37 | 109 | 10468 | 1558,18 | 16310823 | 0,0602 | 117,0 | 490,93 |
| 38 | 112 | 11044 | 1558,18 | 17208406 | 0,0636 | 123,5 | 373,90 |

| | | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-----------------|------------------|-------------|---------------|--------|
| 39 | 115 | 11635 | 1558,18 | 18129692 | 0,0670 | 130,1 | 250,42 |
| 40 | 118 | 12242 | 1370,00 | 16771051 | 0,0619 | 120,3 | 120,34 |
| Total: | | | 67039,82 | 270765051 | 1,00 | 1942,8 | |

6.3.6 Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.7 pengaruh P-Delta dapat diabaikan bila koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,1$ dengan persamaan untuk mencari koefisien stabilitas adalah sebagai berikut:

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

Dimana:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x

Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik antara tingkat x dan x-1

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah x

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh lebih besar dari θ_{max} , dimana θ_{max} ditentukan oleh:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \leq 0,25 \rightarrow \frac{0,5}{1,5,5} \leq 0,25 \rightarrow 0,091 \leq 0,25$$

Sehingga untuk nilai $\theta_{max} = 0,091$ dengan ketentuan jika nilai dari $\theta \leq 0,1$ pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Jika $\theta > 0,1$ namun tidak lebih besar dari θ_{max} , pengaruh P-Delta harus ditinjau. Dan jika $\theta > \theta_{max}$, bangunan berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Dari persamaan dan ketentuan tersebut maka pengaruh P-Delta dapat dianalisa dan disajikan dalam bentuk tabel 6.25 dan 6.26 berikut ini:

Tabel 6.25 Pengaruh P-Delta arah X

| Lt. | Δ (mm) | I_e | h_{sx} (mm) | C_d | V_x (kN) | P_x (kN) | θ | Pengaruh P-Delta |
|-----|------------------|-------|------------------|-------|---------------|---------------|----------|---------------------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 5,5 | 19804,4 | 683382,5 | 0 | Diabaikan |
| 2 | 2,75 | 1 | 4000 | 5,5 | 19804,4 | 679129,2 | 0,0043 | Diabaikan |
| 3 | 3,85 | 1 | 3000 | 5,5 | 19802,2 | 659057,7 | 0,0078 | Diabaikan |
| 4 | 4,4 | 1 | 3000 | 5,5 | 19795,8 | 639766,1 | 0,0086 | Diabaikan |
| 5 | 4,95 | 1 | 3000 | 5,5 | 19782,8 | 620474,5 | 0,0094 | Diabaikan |
| 6 | 5,5 | 1 | 3000 | 5,5 | 19761,3 | 601482,6 | 0,0101 | Diabaikan |
| 7 | 6,6 | 1 | 3000 | 5,5 | 19728,9 | 582488,9 | 0,0118 | Diabaikan |
| 8 | 6,6 | 1 | 3000 | 5,5 | 19684,2 | 563793,2 | 0,0115 | Diabaikan |
| 9 | 6,6 | 1 | 3000 | 5,5 | 19624,4 | 545097,5 | 0,0111 | Diabaikan |
| 10 | 7,15 | 1 | 3000 | 5,5 | 19547,6 | 526401,7 | 0,0117 | Diabaikan |
| 11 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 19451,5 | 507706,0 | 0,0122 | Diabaikan |
| 12 | 8,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 19335,7 | 489287,0 | 0,0135 | Diabaikan |
| 13 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 19198,9 | 471153,8 | 0,0115 | Diabaikan |
| 14 | 1,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 19045,5 | 453939,9 | 0,0024 | Diabaikan |
| 15 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 18848,8 | 435006,9 | 0,0115 | Diabaikan |
| 16 | 8,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 18631,4 | 416870,7 | 0,0119 | Diabaikan |
| 17 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 18386,7 | 398996,1 | 0,0109 | Diabaikan |
| 18 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 18113,5 | 381383,1 | 0,0105 | Diabaikan |
| 19 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 17806,3 | 363770,0 | 0,0102 | Diabaikan |
| 20 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 17463,2 | 346157,0 | 0,0099 | Diabaikan |
| 21 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 17082,2 | 328544,0 | 0,0096 | Diabaikan |
| 22 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 16667,2 | 311174,4 | 0,0093 | Diabaikan |
| 23 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 16217,3 | 294048,2 | 0,0091 | Diabaikan |
| 24 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 15724,8 | 276922,1 | 0,0088 | Diabaikan |
| 25 | 8,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 15187,9 | 259795,9 | 0,0091 | Diabaikan |
| 26 | 9,35 | 1 | 3000 | 5,5 | 14604,7 | 242669,7 | 0,0094 | Diabaikan |
| 27 | 1,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 14015,7 | 226696,6 | 0,0016 | Diabaikan |
| 28 | 9,35 | 1 | 3000 | 5,5 | 13320,6 | 209229,6 | 0,0089 | Diabaikan |
| 29 | 8,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 12606,2 | 192554,0 | 0,0081 | Diabaikan |
| 30 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 11839,4 | 175878,3 | 0,0069 | Diabaikan |
| 31 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 11018,3 | 159202,7 | 0,0072 | Diabaikan |
| 32 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 10152,0 | 142734,2 | 0,0066 | Diabaikan |
| 33 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 9239,97 | 126472,8 | 0,0068 | Diabaikan |
| 34 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 8269,65 | 110211,3 | 0,0067 | Diabaikan |
| 35 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 7239,23 | 93949,91 | 0,0061 | Diabaikan |
| 36 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 6146,93 | 77688,48 | 0,0059 | Diabaikan |
| 37 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 5004,40 | 61615,99 | 0,0062 | Diabaikan |
| 38 | 8,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 3811,39 | 45732,43 | 0,0060 | Diabaikan |

| | | | | | | | | |
|----|------|---|------|-----|---------|----------|--------|-----------|
| 39 | 7,7 | 1 | 3000 | 5,5 | 2552,73 | 29848,88 | 0,0055 | Diabaikan |
| 40 | 7,15 | 1 | 3000 | 5,5 | 1226,68 | 13965,33 | 0,0049 | Diabaikan |

Tabel 6.26 Pengaruh P-Delta arah Y

| Lt. | Δ (mm) | I_e | h_{sx} (mm) | C_d | V_x (kN) | P_x (kN) | θ | Pengaruh P-Delta |
|-----|------------------|-------|------------------|-------|---------------|---------------|----------|---------------------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 5,5 | 19804,4 | 683382,5 | 0 | Diabaikan |
| 2 | 23,65 | 1 | 4000 | 5,5 | 19804,4 | 679129,2 | 0,037 | Diabaikan |
| 3 | 33,55 | 1 | 3000 | 5,5 | 19802,2 | 659057,7 | 0,068 | Diabaikan |
| 4 | 41,25 | 1 | 3000 | 5,5 | 19795,8 | 639766,1 | 0,081 | Diabaikan |
| 5 | 47,3 | 1 | 3000 | 5,5 | 19782,8 | 620474,5 | 0,090 | Diabaikan |
| 6 | 51,15 | 1 | 3000 | 5,5 | 19761,3 | 601482,6 | 0,094 | Diabaikan |
| 7 | 54,45 | 1 | 3000 | 5,5 | 19728,9 | 582488,9 | 0,097 | Diabaikan |
| 8 | 56,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 19684,2 | 563793,2 | 0,098 | Diabaikan |
| 9 | 57,2 | 1 | 3000 | 5,5 | 19624,4 | 545097,5 | 0,096 | Diabaikan |
| 10 | 57,2 | 1 | 3000 | 5,5 | 19547,6 | 526401,7 | 0,093 | Diabaikan |
| 11 | 55,55 | 1 | 3000 | 5,5 | 19451,5 | 507706,0 | 0,088 | Diabaikan |
| 12 | 53,9 | 1 | 3000 | 5,5 | 19335,7 | 489289,9 | 0,083 | Diabaikan |
| 13 | 46,75 | 1 | 3000 | 5,5 | 19198,9 | 471153,8 | 0,070 | Diabaikan |
| 14 | 8,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 19045,5 | 453939,9 | 0,013 | Diabaikan |
| 15 | 45,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 18848,8 | 435006,9 | 0,064 | Diabaikan |
| 16 | 52,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 18631,4 | 416870,7 | 0,072 | Diabaikan |
| 17 | 55 | 1 | 3000 | 5,5 | 18386,7 | 398996,1 | 0,072 | Diabaikan |
| 18 | 56,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 18113,5 | 381383,1 | 0,072 | Diabaikan |
| 19 | 57,75 | 1 | 3000 | 5,5 | 17806,3 | 363770,0 | 0,072 | Diabaikan |
| 20 | 57,75 | 1 | 3000 | 5,5 | 17463,2 | 346157,0 | 0,069 | Diabaikan |
| 21 | 57,75 | 1 | 3000 | 5,5 | 17082,2 | 328544,0 | 0,067 | Diabaikan |
| 22 | 56,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 16667,2 | 311174,4 | 0,064 | Diabaikan |
| 23 | 55,55 | 1 | 3000 | 5,5 | 16217,3 | 294048,2 | 0,061 | Diabaikan |
| 24 | 52,8 | 1 | 3000 | 5,5 | 15724,8 | 276922,1 | 0,056 | Diabaikan |
| 25 | 51,15 | 1 | 3000 | 5,5 | 15187,9 | 259795,9 | 0,053 | Diabaikan |
| 26 | 46,2 | 1 | 3000 | 5,5 | 14604,7 | 242669,7 | 0,047 | Diabaikan |
| 27 | 12,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 14015,7 | 226696,6 | 0,012 | Diabaikan |
| 28 | 44,55 | 1 | 3000 | 5,5 | 13320,6 | 209229,6 | 0,042 | Diabaikan |
| 29 | 45,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 12606,2 | 192554,0 | 0,042 | Diabaikan |
| 30 | 46,75 | 1 | 3000 | 5,5 | 11839,4 | 175878,3 | 0,042 | Diabaikan |
| 31 | 47,3 | 1 | 3000 | 5,5 | 11018,3 | 159202,7 | 0,041 | Diabaikan |
| 32 | 47,3 | 1 | 3000 | 5,5 | 10152,0 | 142734,2 | 0,040 | Diabaikan |
| 33 | 47,85 | 1 | 3000 | 5,5 | 9239,97 | 126472,8 | 0,040 | Diabaikan |
| 34 | 47,3 | 1 | 3000 | 5,5 | 8269,65 | 110211,3 | 0,038 | Diabaikan |
| 35 | 46,75 | 1 | 3000 | 5,5 | 7239,23 | 93949,91 | 0,037 | Diabaikan |

| | | | | | | | | |
|----|-------|---|------|-----|---------|----------|-------|-----------|
| 36 | 45,65 | 1 | 3000 | 5,5 | 6146,93 | 77688,48 | 0,035 | Diabaikan |
| 37 | 46,2 | 1 | 3000 | 5,5 | 5004,40 | 61615,99 | 0,034 | Diabaikan |
| 38 | 45,1 | 1 | 3000 | 5,5 | 3811,39 | 45732,43 | 0,033 | Diabaikan |
| 39 | 44,55 | 1 | 3000 | 5,5 | 2552,73 | 29848,88 | 0,032 | Diabaikan |
| 40 | 42,9 | 1 | 3000 | 5,5 | 1226,68 | 13965,33 | 0,030 | Diabaikan |

Pada tabel 6.25 nilai koefisien stabilitas maksimal untuk arah X yaitu $0,014 < 0,1$ dan tabel 6.26 untuk arah Y sebesar $0,098 < 0,1$ maka pengaruh P-Delta pada kedua arah bangunan dapat diabaikan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

STRUKTUR PRIMER DAN *OUTRIGGER*

7.1 Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer/struktur utama berfungsi untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral. Bangunan Apartemen Puncak Dharma Husada ini menggunakan sistem kombinasi *Shear wall* dan *outrigger*. Dimana faktor reduksi gempa (R) yang digunakan sebesar 7. Sehingga detailing yang digunakan untuk perencanaan struktur utama menggunakan detailing khusus. Semua tata cara perencanaan dan detailing struktur mengacu pada SNI 2847:2013.

7.1.1 Balok Induk

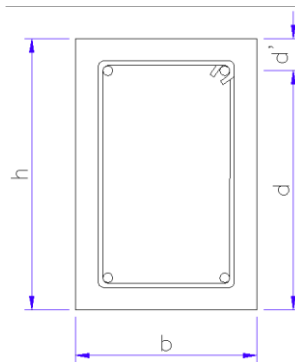
Balok merupakan salah satu elemen struktur yang harus memikul beban dari struktur sekunder untuk kemudian diteruskan ke kolom. Disamping itu, balok juga harus memikul beban gravitasi dan beban lateral. Analisa gaya dalam pada balok menggunakan program bantu SAP.

Pada bab ini akan diberikan contoh perhitungan penulangan balok induk sesuai dengan SNI 2847:2013 dengan detailing mengacu pada pasal 21.5 tentang rangka momen khusus. Hasil perhitungan balok induk tipe lain disajikan dalam bentuk tabel.

Data Perencanaan:

| | | |
|----------------------|-----------|--|
| Tipe balok | | : B1-5 |
| Bentang balok | (L) | : 3500 mm |
| Bentang bersih balok | (L_n) | : mm |
| Dimensi balok | (b) | : 300 mm |
| | (h) | : 400 mm |
| D. tulangan | (lentur) | : 19 mm $\rightarrow A_s = 283,529 \text{ mm}^2$ |
| | (geser) | : 13 mm $\rightarrow A_s = 132,73 \text{ mm}^2$ |
| | (torsion) | : 13 mm $\rightarrow A_s = 132,73 \text{ mm}^2$ |

| | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Mutu tulangan (lentur) f_y | : 390 Mpa |
| (geser) f_y | : 390 Mpa |
| (tors) f_y | : 390 Mpa |
| Selimut beton (s) | : 40 mm |
| | (SNI 03-2847-2013 Ps. (7.7.1)) |
| Mutu beton (f'_c) | : 41,5 Mpa |
| (β_1) | : $0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$ |
| | (SNI 03-2847-2013 Ps.10.2.7.3) |
| | : $0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7}$ |
| | : 0,754 |



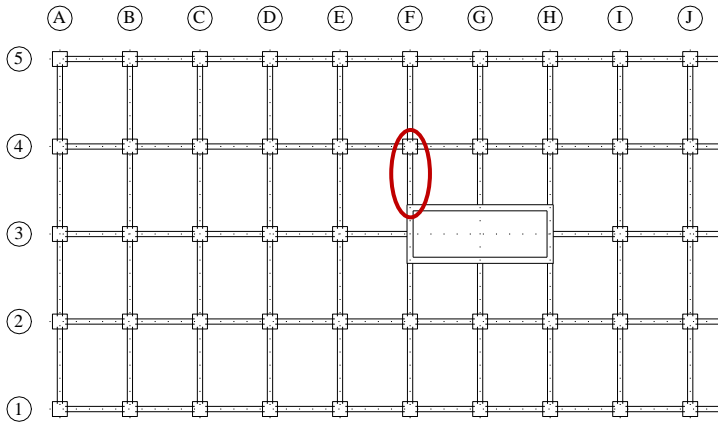
Gambar 7.1 Tinggi Efektif Balok Induk

Tinggi efektif balok sesuai gambar 7.1, berikut:

$$\begin{aligned}
 d' &= h_{\text{balok}} - \text{Sel. beton} - D \text{ Tul.} - \frac{1}{2} D \text{ Tul.} \\
 &= 400 - 40 - 13 - \frac{1}{2}(19) \\
 &= 337,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= \text{Sel. beton} + D \text{ Tul.} + \frac{1}{2} D \text{ Tul.} \\
 &= 40 + 13 + \frac{1}{2}(19) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Denah balok yang ditinjau ditunjukkan pada gambar 7.2 berikut ini.



Gambar 7.2 Lokasi Balok Induk yang Ditinjau

Dari hasil analisa struktur, didapat *output* gaya dalam dari SAP yang disajikan pada tabel 7.1.

Tabel 7.1 Output Gaya Dalam Balok Induk

| Combo. | Tumpuan (kNm) | | Lapangan (kNm) | | Torsi (T.m) | Geser (T) |
|----------|---------------|---------|----------------|---------|-------------|-----------|
| | Negatif | Positif | Negatif | Positif | | |
| Envelope | 14,65 | 9,82 | 0 | 3,66 | 2,30 | |
| 1,2D+1L | | | | | | 4,68 |

Cek Kebutuhan Tulangan Torsi:

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.5.2.2 kebutuhan tulangan torsi dapat diabaikan jika:

$$Tu < \phi \cdot 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana:

ϕ = 0,75 (pasal 9.3.2.3)

λ = 1 (beton normal) (pasal 8.6.1)

$$A_{cp}^2 = (300 \times 400)^2 = 14400000000 \text{ mm}^4$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 \times 400) = 240000 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$23002500 < 0,75 \cdot 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} \cdot \left(\frac{14400000000}{240000} \right)$$

$23002500 \text{ Nmm} > 95664,43 \text{ Nmm} \rightarrow$ Perlu tulangan torsi

Cek dimensi penampang untuk menahan torsi terfaktor:

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1 dimensi penampang harus memenuhi:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \right)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} bh &= b - 2 \times s \text{ balok} - D \text{ geser} \\ &= 300 - (2 \times 40) - 13 \\ &= 207 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hh &= h - 2 \times s \text{ balok} - D \text{ geser} \\ &= 400 - (2 \times 40) - 13 \\ &= 307 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ph &= 2 \times (bh + hh) \\ &= 2 \times (207 + 307) \\ &= 1028 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= bh \times hh \\ &= 207 \times 307 \\ &= 63549 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \sqrt{41,5} \cdot 300 \cdot 337,5 \\ &= 110884 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka:

$$\sqrt{\left(\frac{46844}{300.337,5}\right)^2 + \left(\frac{23002500 \cdot 1028}{1,7.63549^2}\right)^2} = 3,48$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{110884}{300.337,5} + 0,66 \cdot \sqrt{41,5}\right) = 4,01$$

$$3,48 \leq 4,01 \rightarrow \text{Okay}$$

Perhitungan tulangan transversal penahan torsi:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6 perhitungan tulangan transversal penahan torsi adalah sebagai berikut:

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 63549 = 54017 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta$$

$$\frac{T_u}{\phi} = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{23002500}{0,75 \cdot 2 \cdot 54017 \cdot 390 \cdot \cot 45} \\ &= 0,728 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \frac{f_{yt}}{f_y} \times \cot^2 \theta \\ &= 0,728 \times 1028 \times \frac{390}{390} \times \cot^2 45 \\ &= 748,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l \min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} \times P_h \times \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{41,5} \cdot 120000}{390} - 0,728 \times 1028 \times \frac{390}{390} \end{aligned}$$

$$= 84,196 \text{ mm}^2$$

Karena $A_1 > A_{1 \text{ min}}$, maka pakai $= 748,32 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk lentur didistribusikan merata ke-4 sisi balok:

$$\frac{A_1}{4} = \frac{748,32}{4} = 187,08 \text{ mm}^2$$

Tulangan puntir yang dipasang:

$$\frac{A_{st}}{A_{s \text{ tul.}}} = \frac{187,08}{132,73} = 1,41 \approx 2 \text{ buah/sisi}$$

Cek:

$$A_s \text{ pasang} > A_{st}$$

$$2 \times 132,73 > 187,08$$

$$265,46 \text{ mm}^2 > 187,08 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Maka:

Tulangan torsi pasang $= 2 \text{ D13}$

Luasan tambahan tul. lentur penahan torsi $= 187,09 \text{ mm}^2$

Luasan tambahan tul. geser penahan torsi $= 0,728 \text{ mm}^2$

Perhitungan tulangan longitudinal:

- Tumpuan Momen Negatif
 → Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
 Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d' \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{41,5}}{390} \times 300 \times 337,5 \\ &= 418,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{1,4}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 363,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, $A_{s \min}$ pakai adalah = 418,11 mm² dengan ρ_{\min} = 0,0035.

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal:

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi x b x d_x^2} \\
 &= \frac{14,65 x 10^7}{0,9 x 300 x 337,5^2} \\
 &= 4,763 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

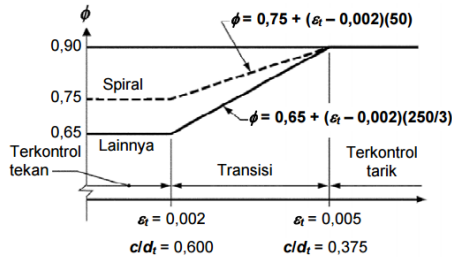
$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\
 &= \frac{390}{0,85 x 41,5} \\
 &= 11,06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 11,06 x 4,763}{390}} \right) \\
 &= 0,0132
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\text{Perlu}} x b x d_x \\
 &= 0,0132 x 300 x 337,5 \\
 &= 1333,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 7.3.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$

Gambar 7.3 Zona Batas Regangan dan variasi factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{cb}} \\ &= \frac{1333,6 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} \\ &= 49,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{49,15}{0,754} = 65,22 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 337,5 = 126,56 \text{ mm}$$

Maka, $65,22 \text{ mm} \leq 126,56 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq \frac{14,65 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(337,5 - \frac{49,15}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} \leq 1333,6 \text{ mm}^2$$

→ Menentukan jumlah tulangan utama terpasang

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ penahan torsi} \\ &= 1333,6 \text{ mm}^2 + 187,1 \text{ mm}^2 \\ &= 1520,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1520,7}{283,53} = 5,4 \approx 6 \text{ buah}$$

→ Cek tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 6 \times 283,53 &> 1520,7 \\ 1701,17 \text{ mm}^2 &> 1520,7 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{Okay})$$

→ Cek momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{c x b}} \\ &= \frac{1701,17 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} \\ &= 62,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi . A_s . f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 . 1701,17 . 390 \cdot \left(337,5 - \frac{62,69}{2} \right) \\ &= 182807540 \text{ N.mm} > 146483600 \text{ N.mm} \quad (\text{Okay}) \end{aligned}$$

→ Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{bw - (2xd) - (Nx D.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (6 \times 19) - (2 \times 13)}{6 - 1} \\
 &\approx 16 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad (\text{Not Okay})
 \end{aligned}$$

Karena syarat tidak memenuhi maka tulangan dipasang 2 lapis, dimana lapis pertama 4 buah dan lapis kedua 2 buah, maka:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{bw - (2xd) - (Nx D.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (4 \times 19) - (2 \times 13)}{4 - 1} \\
 &\approx 39,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang dua lapis, dengan jumlah tulangan 6D19.

- Tumpuan Momen Positif

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{0,25x\sqrt{41,5}}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 418,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{1,4}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 363,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ perlu}} = 418,11 \text{ mm}^2$ dengan $\rho_{\text{min}} = 0,0035$.

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal:
 Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\
 &= \frac{9,823 \times 10^7}{0,9 \times 300 \times 337,5^2} \\
 &= 3,194 \text{ N/mm}^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\
 &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\
 &= 11,06 \\
 \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 3,194}{390}} \right) \\
 &= 0,0086 \\
 A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\
 &= 0,0086 \times 300 \times 337,5 \\
 &= 870,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang
 Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 7.3. Dimana nilai $c \leq 0,375 d_t$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{870,59 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} \\
 &= 32,084 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{32,084}{0,754} = 42,58 \text{ mm}$$

$$0,375d_t = 0,375 \times 337,5 = 126,56 \text{ mm}$$

Maka, $42,58 \text{ mm} \leq 126,56 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{9,823 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(337,5 - \frac{32,08}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 870,59 \text{ mm}^2$$

→ Menentukan jumlah tulangan utama terpasang

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_{s \text{ lentur}} + A_{s \text{ penahan torsi}} \\ &= 870,59 \text{ mm}^2 + 187,1 \text{ mm}^2 \\ &= 1057,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{1057,7}{283,53} = 3,73 \approx 4 \text{ buah}$$

→ Cek tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 4 \times 283,53 &> 1057,7 \\ 1134,1 \text{ mm}^2 &> 1057,7 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{Okay})$$

→ Cek momen nominal

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{cb}} \\ &= \frac{1134,1 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} \\ &= 41,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 1134,1 \cdot 390 \cdot \left(337,5 - \frac{41,8}{2} \right) \\
 &= 127964167 \text{ N.mm} > 98230100 \text{ N.mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

→ Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_w - (2x d) - (N x D_{tul}) - (2x \phi)}{N - 1} \\
 &= \frac{300 - (2x 40) - (4x 19) - (2x 13)}{4 - 1} \\
 &\approx 39,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang dua lapis, dengan jumlah tulangan 4D19.

- Lapangan Momen Positif

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \frac{0,25 x \sqrt{f'_c}}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{0,25 x \sqrt{41,5}}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 418,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{1,4}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 363,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Perlu}} = 418,11 \text{ mm}^2$ dengan $\rho_{\min} = 0,0035$.

→ Menghitung kebutuhan tulangan awal:

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} \\
 &= \frac{3,66 \times 10^7}{0,9 \times 300 \times 337,5^2} \\
 &= 1,191 \text{ N/mm}^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 x f'_c} \\
 &= \frac{390}{0,85 \times 41,5} \\
 &= 11,06 \\
 \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 1,191}{390}} \right) \\
 &= 0,0031 \\
 A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\
 &= 0,0031 \times 300 \times 337,5 \\
 &= 418,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 7.3. Dimana nilai $c \leq 0,375d_t$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\
 &= \frac{418,11 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} \\
 &= 15,41 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{15,41}{0,754} = 20,45 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 337,5 = 126,56 \text{ mm}$$

Maka, $20,45 \text{ mm} \leq 126,56 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{M_u}{\phi \rho f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{3,66 \times 10^7}{0,9 \times 390 \times \left(337,5 - \frac{15,41}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 316,36 \text{ mm}^2$$

→ Menentukan jumlah tulangan utama terpasang

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_{s \text{ lentur}} + A_{s \text{ penahan torsi}} \\ &= 316,36 \text{ mm}^2 + 187,1 \text{ mm}^2 \\ &= 605,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{605,19}{283,53} = 2,135 \approx 3 \text{ buah}$$

→ Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$4 \times 283,53 > 605,19$$

$$1134,1 \text{ mm}^2 > 605,19 \text{ mm}^2$$

(Okay)

→ Cek momen nominal

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \\ &= \frac{1134,1 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} \\ &= 41,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 1134,1 \cdot 390 \cdot \left(337,5 - \frac{41,79}{2} \right) \\
 &= 126031160 \text{ N.mm} > 36620900 \text{ N.mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

→ Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{bw - (2xd) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\
 &= \frac{300 - (2x40) - (4x19) - (2x13)}{4 - 1} \\
 &\approx 39,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang dua lapis, dengan jumlah tulangan 4D19.

- Lapangan Momen negatif

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

→ Karena nilai $\mu=0$ maka digunakan tulangan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25x\sqrt{f'c}}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{0,25x\sqrt{41,5}}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 418,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d' \\
 &= \frac{1,4}{390} x 300 x 337,5 \\
 &= 363,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ perlu}} = 418,11 \text{ mm}^2$ dengan $\rho_{\text{min}} = 0,0035$.

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 7.3. Dimana nilai $c \leq 0,375dt$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\ &= \frac{418,11 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} \\ &= 15,41 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{15,41}{0,754} = 20,45 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \times 337,5 = 126,56 \text{ mm}$$

Maka, $20,45 \text{ mm} \leq 126,56 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan jumlah tulangan utama terpasang

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ penahan torsi} \\ &= 418,11 \text{ mm}^2 + 187,1 \text{ mm}^2 \\ &= 605,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{605,19}{283,53} = 2,135 \approx 3 \text{ buah}$$

→ Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$4 \times 283,53 > 605,19$$

$$1134,1 \text{ mm}^2 > 605,19 \text{ mm}^2$$

(Okay)

→ Cek momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} \\ &= \frac{1134,1 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} \\ &= 41,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi . A_s . f_y . \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 . 1134,1 . 390 . \left(337,5 - \frac{41,79}{2} \right) \\
 &= 126031160 \text{ N.mm} > 36620900 \text{ N.mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

→ Kontrol jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_w - (2xd) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\
 &= \frac{300 - (2x40) - (4x19) - (2x13)}{4 - 1} \\
 &\approx 39,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal dipasang dua lapis, dengan jumlah tulangan 4D19.

Gaya geser desain (V_e):

- Momen nominal ujung balok SNI 2847:2013 Gbr. S21.5.4 Asumsi sendi plastis terbentuk di ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai $1,25.f_y$, dan M_{pr} balok adalah balok T, maka nilai A_s pelat sepanjang lebar efektif juga menambah besaran A_s untuk perhitungan M_{pr} .

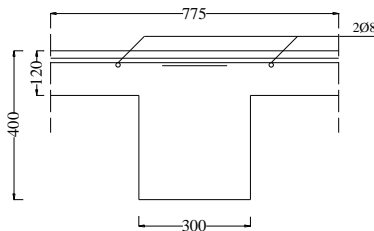
Lebar efektif balok T :

$$b_{\text{eff}} \leq 0,25.L_n = 0,25.3100 = 775 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} \leq (2.8.h_{\text{plt}}).b_w = (2.8.120).300 = 2220 \text{ mm}$$

Maka, diambil yang menentukan yaitu 775 mm

As tambahan dari balok T :



Gambar 7.4 Penampang Balok T

Pada gambar 7.4 terlihat, terdapat dua tulangan $\emptyset 8$ pada penampang sepanjang panjang efektif balok T. Sehingga A_s untuk perhitungan M_{pr} tumpuan akibat tulangan momen negative yaitu:

$$A_s = (2.0,25.\pi.8^2) + 1701,2 = 1801,7 \text{ mm}^2$$

M_n tumpuan akibat tulangan momen negatif:

$$a_{pr-1} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 1801,7 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} = 82,998 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-1} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 1801,7 \cdot 390 \cdot \left(337,5 - \frac{82,998}{2} \right) \\ &= 259986508 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

M_n tumpuan akibat tulangan momen positif:

$$a_{pr-2} = \frac{1,25 \cdot A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \cdot 1134,1 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} = 52,245 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-2} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr-2}}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 1134,1 \cdot 390 \cdot \left(337,5 - \frac{52,245}{2} \right) \\ &= 172154759 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

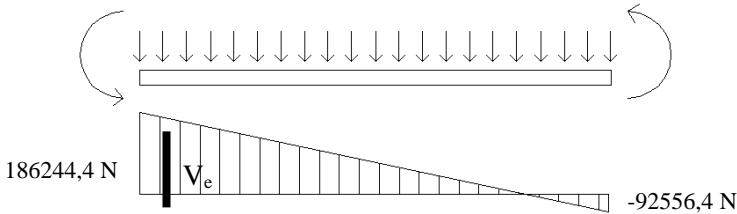
- Hitung gaya geser akibat M_{pr} SNI 2847:2013 Gbr. S21.5.4
 $V_u = 46844 \text{ N (combo 1,2D+1L)}$

➤ Struktur bergoyang ke kiri

$$\begin{aligned} V_{\text{sway_ki}} &= \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{l_n} \\ &= \frac{259986508 + 172154759}{3100} \\ &= 139400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Reaksi ujung kiri balok} & \text{Reaksi ujung kanan balok} \\
 = V_u + V_{\text{sway_ki}} & = V_u - V_{\text{sway_ki}} \\
 = 46844 + 139400 & = 46844 - 139400 \\
 = 186244,41 \text{ N} & = -92556,41 \text{ N}
 \end{array}$$

$$M_{pr_1} = 259986508 \text{ N.mm} \quad M_{pr_2} = 172154759 \text{ N.mm}$$



Gambar 7.5 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kiri

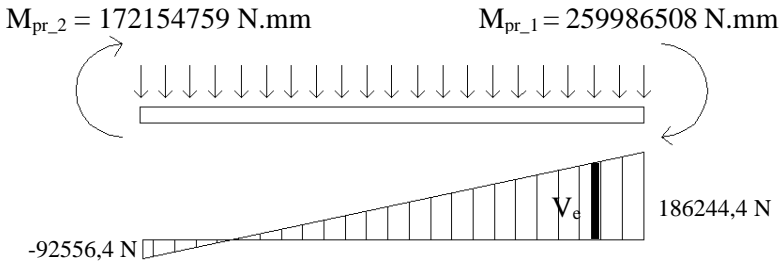
Dari gambar 7.5 didapat nilai V_e sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{186244,41}{\ln} x(\ln - d) \\
 &= \frac{186244,41}{3100} x(3100 - 337,5) \\
 &= 165967,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Struktur bergoyang ke kanan

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway_ka}} &= \frac{M_{pr_2} + M_{pr_1}}{\ln} \\
 &= \frac{172154759 + 259986508}{3100} \\
 &= 139400 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Reaksi ujung kiri balok} & \text{Reaksi ujung kanan balok} \\
 = V_u - V_{\text{sway_ki}} & = V_u + V_{\text{sway_ki}} \\
 = 46844 - 139400 & = 46844 + 139400 \\
 = -92556,41 \text{ N} & = 186244,41 \text{ N}
 \end{array}$$



Gambar 7.6 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kanan

Dari gambar 7.6 didapat nilai V_e sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{186244,41}{\ln} x(\ln - d) \\
 &= \frac{186244,41}{3100} x(3100 - 337,5) \\
 &= 165967,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan transversal penahan geser dan torsi:

- Hitung tulangan di daerah sendi plastis (daerah sepanjang $2h$ dari muka kolom) dan di daerah luar sendi plastis sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.1. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 nilai $V_c = 0$, bila kedua syarat berikut terpenuhi:

1. $V_e \geq 0,5 \cdot V_u$

$$165967,8 \text{ N} \geq 0,5 \cdot 46844 \text{ N}$$

$$165967,8 \text{ N} \geq 23422 \text{ N}$$

(*Okay*)

2. $P_u \leq \frac{A_g \cdot f'_c}{20}$

$$0 \leq \frac{(300 \cdot 400) \cdot 41,5}{20} = 996000 \text{ N} \quad (\text{Okay})$$

Maka, nilai V_c dapat diabaikan ($V_c = 0$)

➤ Daerah sendi plastis

$2 \times h = 2 \times 400 = 800$ mm dari muka kolom

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{165967,8}{0,75} - 0 = 221290,4 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} = \frac{221290,4}{390.337,5} = 1,681 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

➤ Daerah sendi luar plastis

$2 \times h = 2 \times 400 = 800$ mm dari muka kolom

$$V_e = \frac{(3100 - 800) \times (186244,4 - (-92556,4))}{3100}$$

$$= 206852,22 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{41,5} \times 300 \times 337,5$$

$$= 110883,8 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{206852,2}{0,75} - 110883,8 = 164919,2 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} = \frac{164919,2}{390.337,5} = 1,253 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

• Kebutuhan tulangan transversal penahan geser dan torsi

➤ Daerah sendi plastis

$$\frac{A_v + t}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = 1,681 + 0,728 = 2,409 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang 2 kaki diameter 13 mm:

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{265,46}{2,409} = 110,2 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Syarat jarak tulangan pada sendi plastis harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.3.2:

1. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.
2. Spasi sengkang tertutup tidak boleh lebih dari:

$$100 \text{ mm} < \frac{d}{4} = \frac{337,5}{4} = 84,38 \text{ mm (Not Okay)}$$

$$100 \text{ mm} < 6 \times \text{tul. longitudinal} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

Karena satu syarat tidak terpenuhi maka spasi tulangan transversal menggunakan, **D13 – 80**.

➤ Daerah luar sendi plastis

$$\frac{A_v + t}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = 1,253 + 0,728 = 1,981 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang 2 kaki diameter 13 mm:

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{265,46}{1,981} = 134,01 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm}$$

Syarat jarak tulangan pada daerah diluar sendi plastis harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.3.4 :

$$130 \text{ mm} < \frac{d}{2} = \frac{337,5}{2} = 168,75 \text{ mm} \rightarrow \text{(Okay)}$$

Syarat memenuhi, maka digunakan **D13 – 130**

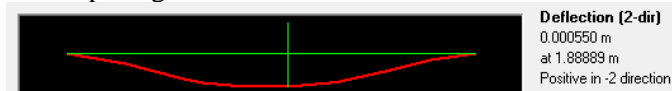
Kontrol lendutan yang terjadi:

Lendutan izin seketika harus memenuhi SNI 2847:2013

Tabel 9.5(b), yaitu:

$$\frac{l_n}{360} = \frac{3100}{360} = 8,61 \text{ mm}$$

Dari output SAP lendutan akibat kombinasi 1D+1L dapat dilihat pada gambar 7.7 berikut ini.



Gambar 7.7 Grafik lendutan yang terjadi pada balok

Dapat dilihat pada gambar 7.7 bahwa lendutan maksimum terjadi pada 1,889 m tengah bentang dengan lendutan sebesar 0,55 mm.

Cek:

$$\delta_{ijin} < \delta_{terjadi} \rightarrow 8,61 \text{ mm} > 0,55 \text{ mm} \rightarrow \text{Okay}$$

Kontrol retak:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.6.4, spasi tulangan terdekat ke muka tarik (S) tidak boleh melebihi yang diberikan oleh:

$$S = 380x \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5.C_c$$

Tetapi tidak lebih besae dari:

$$S = 380x \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana:

C_c = Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik = 40 mm

$$f_s = \frac{2}{3} \times f_y = \frac{2}{3} \times 390 = 260 \text{ Mpa}$$

Maka:

$$S = 380x \left(\frac{280}{260} \right) - 2,5.40 = 309 \text{ mm}$$

$$S = 380x \left(\frac{280}{260} \right) = 409 \text{ mm}$$

Cek:

Yang menentukan adalah 309 mm > 66,5 mm \rightarrow Okay

Panjang penyaluran tulangan berkait:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.5.1 panjang penyaluran tulangan berkait (ldh) diambil sesuai dengan nilai:

$$L_{dh} = \frac{f_y \cdot d_b}{5,4 \cdot \sqrt{f'_c}} = \frac{390 \cdot 19}{5,4 \cdot \sqrt{41,5}} = 213 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari:

- $250 \text{ mm} > 8 \text{ db} = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$
- $250 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$

Maka dipakai $l_{dh} = 250 \text{ mm}$

Panjang penyaluran tulangan tarik:

- Tulangan atas pada tumpuan yang terpasang sebanyak 6D 19, dimana 4 buah tulangan akan dipasang menerus sepanjang bentang dan 2 buah tulangan akan dipotong. M_n tulangan ini adalah sebagai berikut:

$$2D \ 19 \rightarrow A_s = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{c x b}} = \frac{567,06 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} = 20,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi . A_s . f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 . 567,06 . 390 \cdot \left(337,5 - \frac{20,9}{2} \right) \\ &= 65095397,52 \text{ N.mm} \rightarrow 65,095 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Untuk mendapatkan lokasi kuat momen nominal rencana 65,095 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen dengan menggunakan kombinasi beban 0,9D + kuat momen, M_n di ujung komponen seperti diilustrasikan pada gambar 7.8.

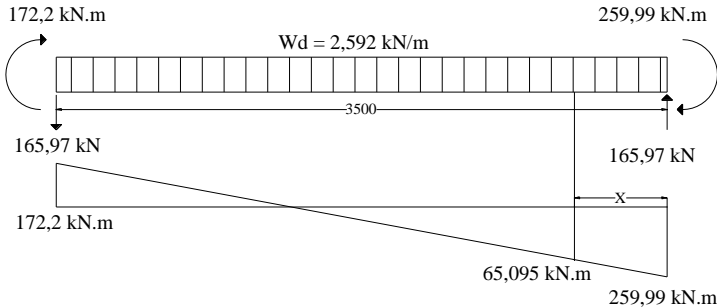
$$M_n = 259986508 \text{ Nmm} \rightarrow 259,99 \text{ kNm}$$

$$W_d = 0,3 \times 0,4 \times 24 \times 0,9 = 2,592 \text{ kN/m}$$

$$\frac{2,592}{2} X^2 - 165,97 X + (259,99 - 172,2) = 0$$

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-165,97 \pm \sqrt{165,97^2 - 4 \cdot 1,296 \cdot 87,79}}{2 \cdot 1,296}$$

$$X = 0,531 \text{ m}$$



Gambar 7.8 Diagram momen pemberhentian tulangan

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 7.8 bahwa momen rencana sebesar 65,095 kN.m terletak pada jarak 0,531 m dari muka tumpuan. Data ini dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan titik potong tulangan 6D 19. Nilai X perlu ditambahkan dengan ketentuan pada SNI 2847:2013 pasal 12.10.3, yaitu:

$$X + 12 \text{ db} = 531 \text{ mm} + (12 \times 19) = 759 \text{ mm} \dots (1)$$

$$X + d = 531 \text{ mm} + 337,5 \text{ mm} = 868,5 \text{ mm} \dots (2)$$

Kedua nilai diatas perlu dibandingkan dengan nilai panjang penyaluran dalam kondisi tarik yang ditentukan oleh SNI 2847:2013 pasal 12.2, yaitu:

$$\text{db} = 19 \text{ mm}$$

$$\Psi_t = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (a))}$$

$$\Psi_e = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (b))}$$

$$\Psi_s = 0,8 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (c))}$$

$$\lambda = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (d))}$$

$$C_b = 62,5$$

$$K_{tr} = 0 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3 (d))}$$

Panjang penyaluran dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 pasal 12.2.3:

$$\frac{C_b + K_{tr}}{db} < 2,5 \rightarrow \frac{62,5 + 0}{19} < 2,5 \rightarrow 3,29 < 2,5 \rightarrow \text{pakai } 2,5$$

$$\begin{aligned}
 L_d &= \left(\frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \times \frac{\psi_t \cdot \psi_a \cdot \psi_s}{\left(\frac{Cb + Ktr}{db} \right)} \right) \times db \\
 &= \left(\frac{390}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5}} \times \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,8}{(2,5)} \right) \times 19 \\
 &= 334,62 \text{ mm} \dots (3)
 \end{aligned}$$

$L_d \text{ min} = 300 \text{ mm} \dots (4)$ (SNI 2847:2013 pasal 12.2.1)

Dari nilai (1), (2), (3), (4) diambil nilai terbesar yaitu 868,5 mm \approx 900 mm

Namun nilai L_d tersebut perlu ditinjau terhadap SNI 2847:2013 pasal 21.7.5.2 untuk tinggi beton yang dicetak melebihi 300 mm maka:

$$L_d \geq 3,25 l_{dh}$$

$$900 \text{ mm} \geq 3,25 \times 250 = 812,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Okay}$$

Jadi digunakan nilai L_d sebesar 900 mm.

Panjang penyaluran tulangan tekan:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 12.3 panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan (l_{dc}) tidak boleh kurang dari:

– 200 mm

$$- \quad l_{dc} = \left(\frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c}} \right) \times db = \left(\frac{0,24 \cdot 390}{1 \cdot \sqrt{41,5}} \right) \times 19 = 276,06 \text{ mm}$$

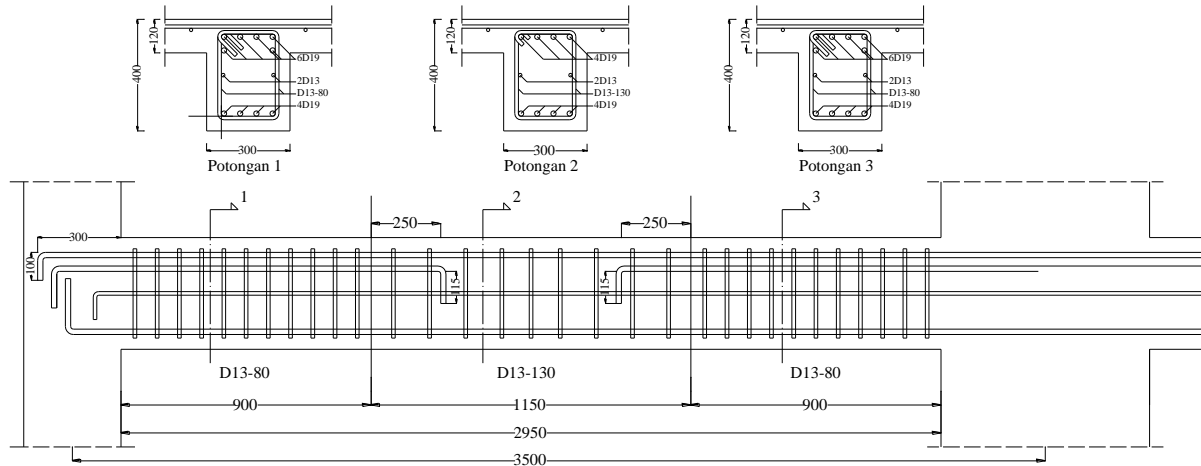
$$- \quad l_{dc} = 0,043 \cdot f_y \cdot db = 0,043 \cdot 390 \cdot 19 = 318,63 \text{ mm}$$

Yang menentukan adalah 318,63 mm \approx 350 mm

Hasil perhitungan tulangan:

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Torsi tumpuan – lapangan | = 2D 13 |
| Longitudinal tumpuan momen negatif | = 6D 19 |
| Longitudinal tumpuan momen positif | = 4D 19 |
| Longitudinal lapangan momen positif | = 4D 19 |
| Longitudinal lapangan momen negatif | = 4D 19 |
| Transversal tumpuan | = D13 - 80 |
| Transversal lapangan | = D13 – 130 |

Sket hasil perhitungan tulangan balok:



Gambar 7.9 Sket hasil perhitungan penulangan balok induk tipe B1-5

Resume penulangan balok induk:

Dengan cara yang sama didapatkan resume penulangan balok induk dari masing-masing tipe balok seperti pada tabel 7.2.

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulanngan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B1-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 5.22 | 1.16 | 2.8 | 603.19 | 265.46 | 1.173 | 3 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 2.61 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.173 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 1.31 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B1-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 8.17 | 0.78 | 3.9 | 1005.3 | 265.46 | 1.232 | 5 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 4.08 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.232 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.04 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B1-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 10.38 | 1.45 | 4.1 | 1134.1 | 265.46 | 1.4167 | 4 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.19 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 567.06 | 265.46 | 1.4167 | 2 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.60 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| B1-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 12.18 | 0.76 | 5.4 | 1417.6 | 265.46 | 1.4876 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.09 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.4876 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 3.65 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-1)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulanngan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B1-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 14.65 | 2.30 | 4.7 | 1701.2 | 265.46 | 2.4092 | 6 D19 | 2 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 9.82 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 1134.1 | 265.46 | 2.4092 | 4 D19 | 2 D13 | D13-130 |
| | | | | MI (+) | 3.66 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| B2-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 6.14 | 1.21 | 2.9 | 804.25 | 265.46 | 1.2679 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 3.07 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.2679 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.71 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B2-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 10.07 | 0.79 | 4.1 | 1206.4 | 265.46 | 1.4701 | 6 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.61 | | | 804.25 | | | 4 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.4701 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 5.07 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B2-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 11.03 | 1.59 | 4.1 | 1134.1 | 265.46 | 1.5521 | 4 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.52 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 567.06 | 265.46 | 1.5521 | 2 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.33 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-2)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulanngan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B2-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 12.99 | 0.90 | 5.5 | 1417.6 | 265.46 | 1.5438 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.49 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.5438 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.65 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B2-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 15.47 | 2.54 | 4.8 | 1701.2 | 265.46 | 1.6939 | 6 D19 | 2 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 10.37 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 1134.1 | 265.46 | 1.6939 | 4 D19 | 2 D13 | D13-125 |
| | | | | MI (+) | 6.84 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| B3-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 7.08 | 1.30 | 3.0 | 804.25 | 265.46 | 1.3118 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 3.54 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.3118 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.91 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B3-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 11.16 | 0.55 | 4.7 | 1206.4 | 265.46 | 1.4455 | 6 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.31 | | | 804.25 | | | 4 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 804.25 | 265.46 | 1.4455 | 4 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 5.64 | | | 804.25 | | | 4 D16 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-3)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulangan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B3-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 10.56 | 1.69 | 4.2 | 1134.1 | 265.46 | 1.5844 | 4 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.28 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 567.06 | 265.46 | 1.5844 | 2 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.04 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| B3-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 12.55 | 1.02 | 5.6 | 1417.6 | 265.46 | 1.5874 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.27 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 567.06 | 265.46 | 1.5874 | 2 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.44 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| B3-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 14.13 | 2.69 | 4.9 | 1701.2 | 265.46 | 2.5574 | 6 D19 | 2 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 8.83 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 2.5574 | 3 D19 | 2 D13 | D13-125 |
| | | | | MI (+) | 6.07 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B4-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 6.99 | 1.17 | 2.9 | 804.25 | 265.46 | 1.0861 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 3.65 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.0861 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.82 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-4)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulangan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B4-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 12.85 | 0.72 | 5.1 | 1407.4 | 265.46 | 1.6813 | 7 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 7.95 | | | 1005.3 | | | 5 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 804.25 | 265.46 | 1.6813 | 4 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 6.63 | | | 804.25 | | | 4 D16 | | |
| B4-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 11.31 | 1.82 | 4.3 | 1417.6 | 265.46 | 1.7124 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.65 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.7124 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.25 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B4-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 13.81 | 1.07 | 5.9 | 1417.6 | 265.46 | 1.6326 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.90 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.6326 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 5.04 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B4-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 15.57 | 3.32 | 5.7 | 1701.2 | 530.93 | 2.8211 | 6 D19 | 4 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 9.52 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 1134.1 | 530.93 | 2.8211 | 4 D19 | 4 D13 | D13-110 |
| | | | | MI (+) | 6.67 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-5)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulanngan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B5-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 7.55 | 1.24 | 3.0 | 804.25 | 265.46 | 1.2887 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 4.26 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.2887 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 3.09 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B5-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 13.30 | 0.61 | 5.5 | 1407.4 | 265.46 | 1.6765 | 7 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 8.43 | | | 1005.3 | | | 5 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 804.25 | 265.46 | 1.6765 | 4 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 6.87 | | | 804.25 | | | 4 D16 | | |
| B5-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 11.19 | 1.84 | 4.3 | 1417.6 | 265.46 | 1.7206 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.59 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.7206 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.16 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B5-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 13.77 | 1.07 | 5.9 | 1417.6 | 265.46 | 1.6343 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.89 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.6343 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 5.02 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-6)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulanngan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B5-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 15.40 | 3.36 | 5.7 | 1701.2 | 530.93 | 2.8372 | 6 D19 | 4 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 9.31 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 530.93 | 2.8372 | 3 D19 | 4 D13 | D13-110 |
| | | | | MI (+) | 6.55 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B6-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 7.67 | 1.19 | 3.0 | 804.25 | 265.46 | 1.2762 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 3.84 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.2762 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 3.07 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B6-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 14.16 | 0.51 | 6.0 | 1608.5 | 265.46 | 1.7552 | 8 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 9.21 | | | 1005.3 | | | 5 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 804.25 | 265.46 | 1.7552 | 4 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 7.31 | | | 804.25 | | | 4 D16 | | |
| B6-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 10.13 | 1.89 | 4.4 | 1134.1 | 265.46 | 1.6653 | 4 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.07 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.6653 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 3.51 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-7)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulangan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B6-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 13.07 | 1.03 | 6.2 | 1417.6 | 265.46 | 1.6438 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.54 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.6438 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.69 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B6-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 13.94 | 3.63 | 6.7 | 1701.2 | 530.93 | 3.0081 | 6 D19 | 4 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 7.34 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 530.93 | 3.0081 | 3 D19 | 4 D13 | D13-110 |
| | | | | MI (+) | 5.69 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B7-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 6.79 | 1.12 | 3.1 | 804.25 | 265.46 | 1.2564 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 3.40 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.2564 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.56 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| B7-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 14.74 | 0.43 | 6.3 | 1608.5 | 265.46 | 1.8303 | 8 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 9.73 | | | 1206.4 | | | 6 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 1005.3 | 265.46 | 1.8303 | 5 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 7.61 | | | 1005.3 | | | 5 D16 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-8)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulangan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B7-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 10.06 | 1.88 | 4.4 | 1134.1 | 265.46 | 1.6625 | 4 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 5.03 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.6625 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 3.49 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B7-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 13.04 | 1.01 | 6.2 | 1417.6 | 265.46 | 1.6401 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.52 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 265.46 | 1.6401 | 3 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.67 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B7-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 15.08 | 3.80 | 7.5 | 1701.2 | 530.93 | 3.1333 | 6 D19 | 4 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 8.11 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 530.93 | 3.1333 | 3 D19 | 4 D13 | D13-105 |
| | | | | MI (+) | 6.21 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| B8-1 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 6.58 | 1.10 | 3.1 | 804.25 | 265.46 | 1.2523 | 4 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 3.29 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 603.19 | 265.46 | 1.2523 | 3 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 2.45 | | | 603.19 | | | 3 D16 | | |

Tabel 7.2 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe balok induk (Lanjutan 1-9)

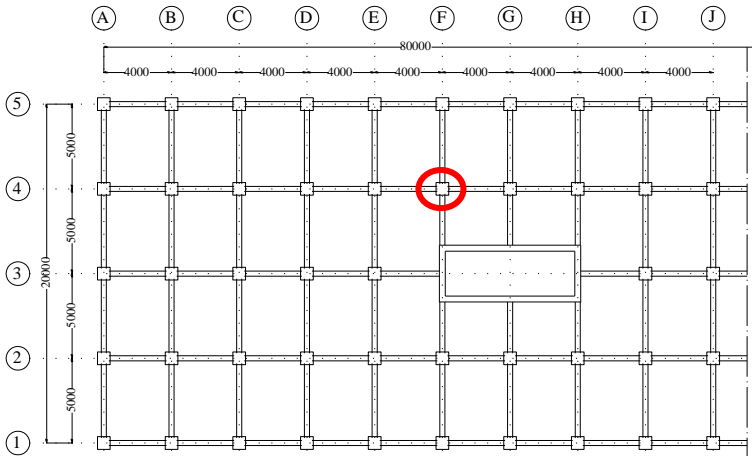
| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulanngan Pasang | | |
|------|---------|-----|-----|--------|------------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-------|---------|
| | B | H | L | | Momen | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser | Lentur | Torsi | Geser |
| | (m) | (m) | (m) | | (T.m) | (T.m) | (T) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ² /mm) | | | |
| B8-2 | 0.3 | 0.4 | 4 | Mt (-) | 14.71 | 0.39 | 6.3 | 1608.5 | 265.46 | 1.8199 | 8 D16 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 9.62 | | | 1206.4 | | | 6 D16 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 1005.3 | 265.46 | 1.8199 | 5 D16 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 7.53 | | | 1005.3 | | | 5 D16 | | |
| B8-3 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 9.56 | 1.66 | 4.4 | 1134.1 | 265.46 | 1.5168 | 4 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 4.78 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 567.06 | 265.46 | 1.5168 | 2 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 3.35 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| B8-4 | 0.3 | 0.4 | 5 | Mt (-) | 12.67 | 0.97 | 6.2 | 1417.6 | 265.46 | 1.6317 | 5 D19 | 2 D13 | D10-85 |
| | | | | Mt (+) | 6.33 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 567.06 | 265.46 | 1.6317 | 2 D19 | 2 D13 | D10-150 |
| | | | | MI (+) | 4.50 | | | 567.06 | | | 2 D19 | | |
| B8-5 | 0.3 | 0.4 | 3.5 | Mt (-) | 14.94 | 3.81 | 7.5 | 1701.2 | 530.93 | 3.1447 | 6 D19 | 4 D13 | D13-80 |
| | | | | Mt (+) | 7.92 | | | 1134.1 | | | 4 D19 | | |
| | | | | MI (-) | 0 | | | 850.59 | 530.93 | 3.1447 | 3 D19 | 4 D13 | D13-105 |
| | | | | MI (+) | 6.09 | | | 850.59 | | | 3 D19 | | |

7.1.2 Kolom

Pada struktur Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya terdapat beberapa jenis kolom. Sebagai contoh perhitungan, akan didesain kolom interior yang terletak pada As 4-F. Dengan data perencanaan sebagai berikut:

Data perencanaan:

| | | |
|-------------------|----------------|---------------------------------------|
| Tipe kolom | : | K1 |
| Tinggi Kolom | (L) | : 4000 mm |
| Dimensi balok | (b) | : 300 mm |
| | (h) | : 400 mm |
| Diameter tulangan | (lentur) | : 19 mm (283,5 mm ²) |
| | (geser) | : 13 mm (132,7 mm ²) |
| Mutu tulangan | (lentur) f_y | : 390 Mpa |
| | (geser) f_y | : 390 Mpa |
| Mutu beton | (f'_c) | : 41,5 Mpa |
| Selimut beton | (s) | : 40 mm |
| | | (SNI 2847:2013 pasal 7.7.1) |
| Tinggi efektif | (d) | : 687,5 mm |
| | (d'') | : 62,5 mm |
| | (β_1) | : $0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$ |
| | | (SNI 03-2847-2013 Ps.10.2.7.3) |
| | | : $0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7}$ |
| | | : 0,754 |



Gambar 7.10 Denah lokasi kolom yang ditinjau

Gaya dalam kolom:

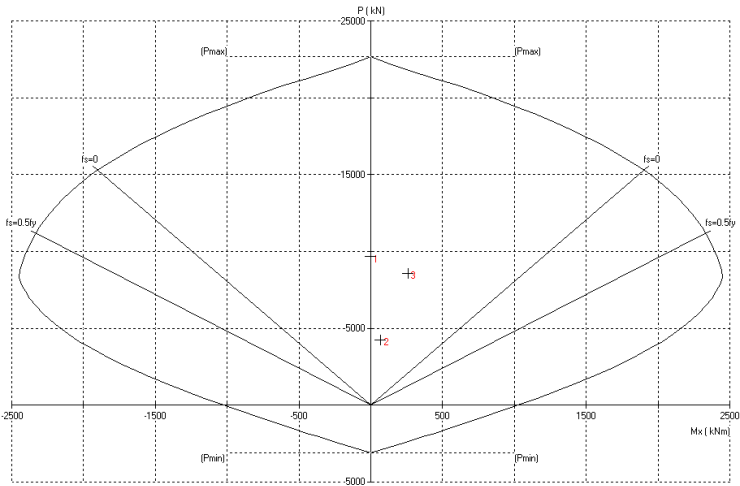
Menggunakan program bantu SAP, maka didapat gaya dalam kolom seperti yang disajikan pada tabel 7.3 baik untuk kolom atas maupun kolom dibawahnya karena kolom pada lantai 1-5 merupakan satu tipe kolom.

Tabel 7.3 Output gaya dalam kolom

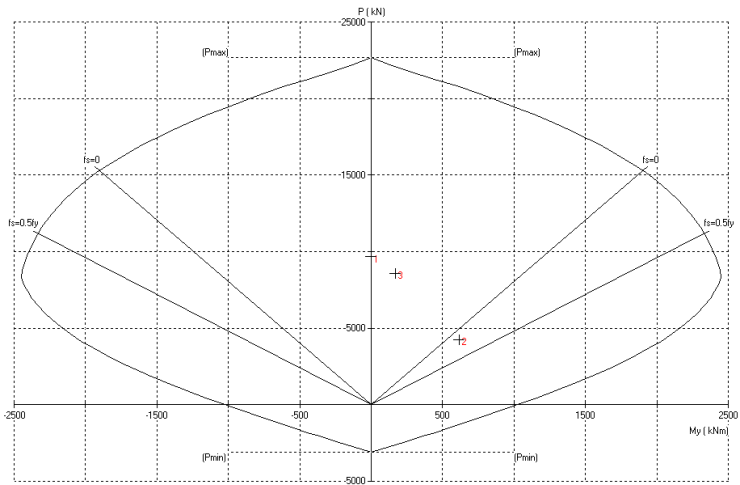
| No. | Combo | Bawah | | |
|-----|-----------------|--------|-------|--------|
| | | P | M_x | M_y |
| | | kN | kN.m | kN.m |
| 1. | 1,2D+1,6L+0,5Lr | 9661,4 | 0,002 | 0,0032 |
| 2. | 1,2D+1L±EY | 4265,1 | 69,83 | 615,86 |
| 3. | 1,2D+1L±EX | 8590,9 | 259,1 | 168,88 |

Perencanaan tulangan lentur:

Dengan menggunakan program bantu SpColumn, semua gaya dalam dari tabel 7.3 dimasukan ke program bantu sebagai beban. Dari beberapa kali percobaan maka didapat *output* seperti pada gambar 7.11 untuk arah x dan 7.12 untuk arah y.



Gambar 7.11 Diagram interaksi kolom (arah X)



Gambar 7.12 Diagram interaksi kolom (arah Y)

Digunakan tulangan 28 D19 dengan rasio tulangan sebesar 1,41% dan jarak minimal antar tulangan sebesar

71,22 mm. Kemudian dilakukan kontrol pemasangan tulangan longitudinal berdasarkan SNI 2847:2013.

- Cek batas tulangan komponen tekan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.1:
 $1\% < 1,41\% < 6\%$ (*Okay*)
- Cek batas spasi bersih tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1:
 $71,22 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (*Okay*)

Kontrol Strong Column Weak Beam Interior:

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 dimana nilai ΣM_{nc} pada joint (AS 4-f) diperoleh dari diagram interaksi kolom, dengan mengambil nilai momen yang dihasilkan dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kekuatan lentur terendah kolom atas dan kolom bawah yang menuju pada joint yang sama. Untuk ΣM_{nb} pada joint (AS 4-f) nilainya ditentukan dari jumlah kekuatan lentur nominal balok yang menuju ke dalam joint yang sama.

➤ ΣM_{nc} pada joint AS 4-f (Arah X)

| No. | Pu kN | Mux kNm | fM_{nx} kNm | No. | Pu kN | Mux kNm | fM_{nx} kNm |
|-----|----------|------------|------------------|-----|----------|------------|------------------|
| 1 | 9661.35 | 0.00 | 2409.53 | 1 | 9361.70 | 0.00 | 2421.19 |
| 2 | 4265.11 | 69.82 | 2047.44 | 2 | 6516.30 | 34.60 | 2336.31 |
| 3 | 8590.50 | 259.08 | 2448.33 | 3 | 6585.50 | 130.20 | 2342.79 |

(a) kolom bawah

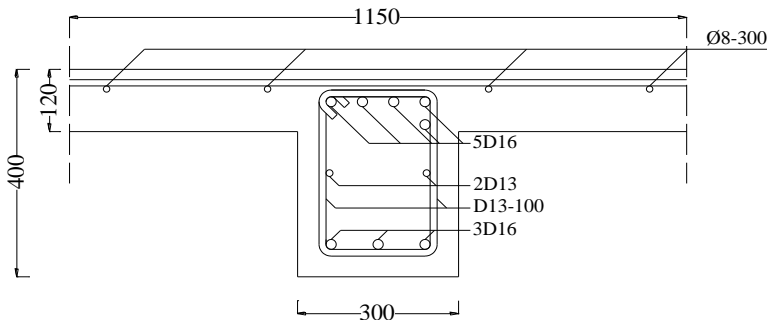
(b) kolom atas

Gambar 7.13 Output diagram interaksi kolom interior arah X

Pada Gambar 7.13 didapat nilai M_{nc} terendah kolom dimana untuk kolom atas dan bawah nilainya diambil seperti gambar diatas. Sehingga didapatkan nilai ΣM_{nc} seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nc} &= M_{nc1} + M_{nc2} \\
 &= 2047,4 + 2336,3 \\
 &= 4383,7 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- ΣM_{nb} pada joint AS 4-f (Arah X)
 Ditinjau terhadap balok B1-2 (AS 4-E,F) tumpuan kanan dan balok B1-2 (AS 4-F,G) tumpuan kiri dimana nilai ΣM_{nb} diambil dari penjumlahan kekuatan lentur nominal balok yang menuju ke dalam joint yang sama. Untuk balok induk B1-2 (AS 4-E,F) dan B1-2 (AS 4-F,G) merupakan balok dengan tipe yang sama Gambar 7.14, maka untuk perhitungan nilai M_{nb} cukup dilakukan satu kali perhitungan saja.



Gambar 7.14 Gambar detail penulangan balok B1-2

Tumpuan kanan (M_{nb1}):

As balok : 5 D16 ($1005,3 \text{ mm}^2$)

As pelat dalam lebar eff. : 4 Ø8 ($201,1 \text{ mm}^2$)

As total = $1005,3 + 201,1 = 1206,4 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} = \frac{1206,4 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} = 44,5 \text{ mm}$$

$$d = 400 - \left(40 + 10 + 16 + \frac{40}{2}\right) = 314 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1206,4 \cdot 390 \cdot \left(314 - \frac{44,5}{2}\right) \\ &= 137273673,63 \text{ N.mm} = 137,27 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Tumpuan kiri (Mnb2):

As balok : 3 D16 (603,2 mm²)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{603,2 \cdot 390}{0,85 \cdot 41,5 \cdot 300} = 22,2 \text{ mm}$$

$$d = 400 - \left(40 + 10 + 16 + \frac{40}{2}\right) = 314 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 603,2 \cdot 390 \cdot \left(314 - \frac{22,2}{2}\right) \\ &= 71251484,3 \text{ N.mm} = 71,25 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan balok induk diatas, didapatkan nilai kuat momen balok ΣM_{nb} :

$$\begin{aligned} \Sigma M_{nb} &= M_{nb1} + M_{nb2} \\ &= 137,27 + 71,25 \\ &= 208,53 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

❖ Syarat strong column weak beam (Arah X) :

$$\begin{aligned} \Sigma M_{nc} &\geq 1,2 \Sigma M_{nb} \\ 4383,7 \text{ kN.m} &\geq 1,2 \times 208,53 \\ 4383,7 \text{ kN.m} &\geq 250,2 \text{ kN.m} \quad (\text{Okay}) \end{aligned}$$

Jadi, syarat dari *strong column weak beam* pada arah X terpenuhi.

➤ ΣM_{nc} pada joint AS 4-f (Arah Y)

| No. | Pu kN | Muy kNm | fMny kNm | No. | Pu kN | Muy kNm | fMny kNm |
|-----|----------|------------|-------------|-----|----------|------------|-------------|
| 1 | 9661.35 | 0.00 | 2409.53 | 1 | 9361.70 | 0.00 | 2421.19 |
| 2 | 4265.11 | 615.86 | 2047.44 | 2 | 6516.30 | 337.40 | 2336.31 |
| 3 | 8590.50 | 168.89 | 2448.33 | 3 | 6585.50 | 95.71 | 2342.79 |

(a) kolom bawah

(b) kolom atas

Gambar 7.15 Output diagram interaksi kolom interior arah Y

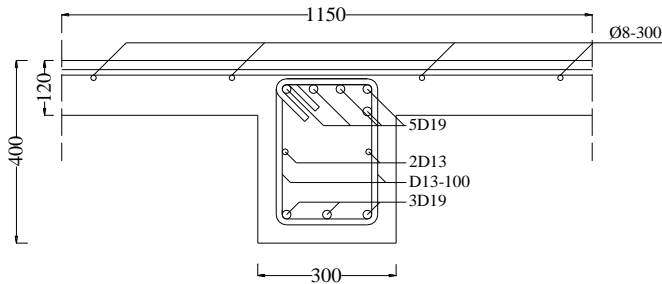
Pada Gambar 7.15 didapat nilai M_{nc} terendah kolom dimana untuk kolom atas dan bawah nilainya diambil

seperti gambar diatas. Sehingga didapatkan nilai ΣM_{nc} seperti berikut:

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &= M_{nc1} + M_{nc2} \\ &= 2047,4 + 2336,3 \\ &= 4383,7 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

- ΣM_{nb} pada joint AS 4-f (Arah Y)
Ditinjau terhadap balok B1-4 (AS F-4,5) tumpuan kanan Gambar 7.16 dan balok B1-5 (AS F-3,4) tumpuan kiri Gambar 7.17 dimana nilai ΣM_{nb} diambil dari penjumlahan kekuatan lentur nominal balok yang menuju ke dalam joint yang sama.

Tumpuan kanan (Mnb3):



Gambar 7.16 Gambar detail penulangan balok B1-4

As balok : 5 D19 ($1417,65 \text{ mm}^2$)

As pelat dalam lebar eff. : 4 Ø8 ($201,1 \text{ mm}^2$)

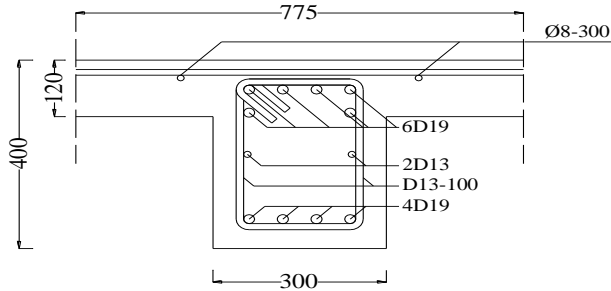
As total = $1417,65 + 201,1 = 1618,75 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} = \frac{1618,75 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} = 59,66 \text{ mm}$$

$$d = 400 - \left(40 + 10 + 19 + \frac{40}{2}\right) = 311 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1618,8 \cdot 390 \cdot \left(311 - \frac{59,66}{2} \right) \\
 &= 177511618,4 \text{ N.mm} = 177,512 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Tumpuan kiri (Mnb4):



Gambar 7.17 Gambar detail penulangan balok B1-5

As balok : 4 D19 (1134,12 mm²)

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{cxb}} = \frac{1134,12 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} = 41,8 \text{ mm}$$

$$d = 400 - \left(40 + 13 + 19 + \frac{40}{2} \right) = 308 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1134,12 \cdot 390 \cdot \left(308 - \frac{41,8}{2} \right) \\
 &= 126986607 \text{ N.mm} = 126,99 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan balok induk diatas, didapatkan nilai kuat momen balok ΣM_{nb} :

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nb} &= M_{nb3} + M_{nb4} \\
 &= 177,51 + 126,99 \\
 &= 304,5 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

❖ Syarat strong column weak beam (Arah X) :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$4383,7 \text{ kN.m} \geq 1,2 \times 304,5$$

$$4383,7 \text{ kN.m} \geq 365,4 \text{ kN.m} \quad (\text{Okay})$$

Jadi, syarat dari *strong column weak beam* pada arah Y terpenuhi.

Kontrol Strong Column Weak Beam Eksterior:

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 dimana nilai ΣM_{nc} pada joint (AS 5-f) diperoleh dari diagram interaksi kolom, dengan mengambil nilai momen yang dihasilkan dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kekuatan lentur terendah kolom atas dan kolom bawah yang menuju pada joint yang sama. Untuk ΣM_{nb} pada joint (AS 5-f) nilainya ditentukan dari jumlah kekuatan lentur nominal balok yang menuju ke dalam joint yang sama.

➤ ΣM_{nc} pada joint AS 5-f (Arah X)

| No. | Pu kN | Mux kNm | fMnx kNm | No. | Pu kN | Mux kNm | fMnx kNm |
|-----|----------|------------|-------------|-----|----------|------------|-------------|
| 1 | 8304.14 | 71.13 | 2450.08 | 1 | 8100.80 | 34.03 | 2441.37 |
| 2 | 3612.41 | 66.55 | 1928.84 | 2 | 4930.40 | 114.44 | 2148.66 |
| 3 | 6798.38 | 228.80 | 2362.13 | 3 | 3433.98 | 35.39 | 1894.93 |

(a) kolom bawah

(b) kolom atas

Gambar 7. 18 Output diagram interaksi kolom eksterior arah X

Pada Gambar 7.13 didapat nilai M_{nc} terendah kolom dimana untuk kolom atas dan bawah nilainya diambil seperti gambar diatas. Sehingga didapatkan nilai ΣM_{nc} seperti berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{nc} &= M_{nc1} + M_{nc2} \\ &= 1928,84 + 1894,93 \\ &= 3823,77 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

➤ ΣM_{nb} pada joint AS 5-f (Arah X)

Ditinjau terhadap balok B1-1 (AS 5-E,F) tumpuan kanan dan balok B1-1 (AS 5-F,G) tumpuan kiri

Tumpuan kiri (Mnb2):As balok : 3 D16 (603,2 mm²)

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{cxb}} = \frac{603,2 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} = 22,2 \text{ mm}$$

$$d = 400 - \left(40 + 10 + 16 + \frac{40}{2}\right) = 314 \text{ mm}$$

$$M_{nb} = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 603,2 \cdot 390 \cdot \left(314 - \frac{22,2}{2}\right)$$

$$= 71251484,3 \text{ N.mm} = 71,25 \text{ kN.m}$$

Dari perhitungan balok induk diatas, didapatkan nilai kuat momen balok ΣM_{nb} :

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nb} &= M_{nb1} + M_{nb2} \\ &= 82,62 + 71,25 \\ &= 153,87 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

❖ Syarat strong column weak beam (Arah X) :

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &\geq 1,2 \Sigma M_{nb} \\ 3823,77 \text{ kN.m} &\geq 1,2 \times 153,87 \\ 3823,77 \text{ kN.m} &\geq 184,6 \text{ kN.m} \quad (\text{Okay})\end{aligned}$$

Jadi, syarat dari *strong column weak beam* pada arah X terpenuhi.

➤ ΣM_{nc} pada joint AS 4-f (Arah Y)

| No. | Pu kN | Muy kNm | fMny kNm | No. | Pu kN | Muy kNm | fMny kNm |
|-----|----------|------------|-------------|-----|----------|------------|-------------|
| 1 | 8304.14 | 563.24 | 2450.08 | 1 | 8100.80 | 209.11 | 2441.37 |
| 2 | 6798.38 | 154.70 | 2362.13 | 2 | 4930.40 | 108.89 | 2148.66 |
| 3 | 3612.41 | 605.01 | 1928.84 | 3 | 3433.98 | 279.60 | 1894.93 |

(a) kolom bawah

(b) kolom atas

Gambar 7.20 Output diagram interaksi kolom eksterior arah Y

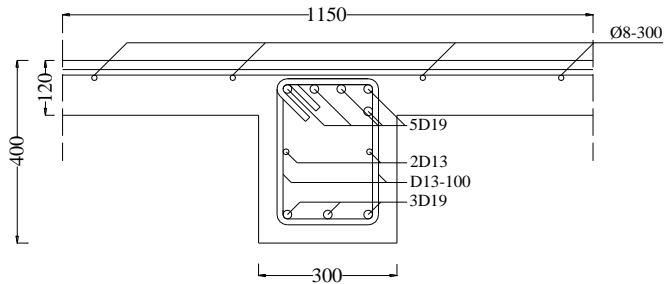
Pada Gambar 7.13 didapat nilai M_{nc} terendah kolom dimana untuk kolom atas dan bawah nilainya diambil

seperti gambar diatas. Sehingga didapatkan nilai ΣM_{nc} seperti berikut:

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &= M_{nc1} + M_{nc2} \\ &= 1928,84 + 1894,93 \\ &= 3823,77 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

- ΣM_{nb} pada joint AS 5-f (Arah Y)
Ditinjau hanya terhadap balok B1-4 (AS F-4,5) tumpuan kanan Gambar 7.16 dimana nilai ΣM_{nb} diambil dari penjumlahan kekuatan lentur nominal balok yang menuju ke dalam joint yang sama.

Tumpuan kanan (Mnb3):



Gambar 7.21 Gambar detail penulangan balok B1-4

As balok : 5 D19 ($1417,65 \text{ mm}^2$)

As pelat dalam lebar eff. : 4 Ø8 ($201,1 \text{ mm}^2$)

As total = $1417,65 + 201,1 = 1618,75 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} = \frac{1618,75 x 390}{0,85 x 41,5 x 300} = 59,66 \text{ mm}$$

$$d = 400 - (40 + 10 + 19 + \frac{40}{2}) = 311 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1618,8 \cdot 390 \cdot \left(311 - \frac{59,66}{2} \right) \\
 &= 177511618,4 \text{ N.mm} = 177,512 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan balok induk diatas, didapatkan nilai kuat momen balok ΣM_{nb} :

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nb} &= M_{nb3} + M_{nb4} \\
 &= 177,51 + 0 \\
 &= 177,51 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

❖ Syarat strong column weak beam (Arah X) :

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nc} &\geq 1,2 \Sigma M_{nb} \\
 4383,7 \text{ kN.m} &\geq 1,2 \times 177,51 \\
 4383,7 \text{ kN.m} &\geq 213,012 \text{ kN.m} \quad \textbf{(Okay)}
 \end{aligned}$$

Jadi, syarat dari *strong column weak beam* pada arah Y terpenuhi.

Perencanaan tulangan geser:

- Panjang l_0 dari muka kolom
Tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang l_0 dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelstik rangka yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.1. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :
 - $l_0 \geq 400 \text{ mm}$
 - $l_0 \geq \frac{1}{6} \times 3600 = 600 \text{ mm}$
 - $l_0 \geq 450 \text{ mm}$
 Maka l_0 pakai adalah yang paling menentukan yaitu 600 mm.

- Spasi tulangan transversal sepanjang l_0 :
Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 spasi tulangan transversal sepanjang panjang l_0 komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

$$- S \leq \frac{1}{4} \times b = \frac{1}{4} \times 750 = 187,5 \text{ mm}$$

$$- S \leq 6 d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$- S \leq 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 107,2 \text{ mm}$$

$$- S \leq 150 \text{ mm}$$

$$- S \leq 100 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasing yang paling menentukan yaitu, $S = 100 \text{ mm}$.

- Tulangan transversal minimum
Luas penampang total tulangan sengkang persegi, Ash tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4, berikut:

$$b_c = 750 - (2.40) - 13 = 657 \text{ mm}$$

$$A_g = 750 \times 750 = 562500 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (750 - (2.40))^2 = 448900 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \frac{S \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \cdot \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$= 0,3 \cdot \frac{100 \cdot 657 \cdot 41,5}{390} \cdot \left[\left(\frac{562500}{448900} \right) - 1 \right]$$

$$= 530,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \cdot \frac{S \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}}$$

$$= 0,09 \cdot \frac{100 \cdot 657 \cdot 41,5}{390}$$

$$= 629,2 \text{ mm}^2$$

Jadi A_{sh} diambil yang terbesar yaitu $629,2 \text{ mm}^2$.

- Kebutuhan tulangan transversal
Asumsi awal tulangan transversal 2 kaki D13 dengan $A_v = 265,5 \text{ mm}^2$. Maka:

$$n = \frac{A_{sh}}{A_v} = \frac{629,2}{265,5} = 2,37 \approx 3 \text{ buah}$$

karena syarat pemasangan tulangan transversal yang tidak boleh melebihi 350 mm sesuai syarat SNI 2847:2013 Gbr. S21.6.4.2, maka tulangan transversal pakai adalah 4 kaki D13 – 100. Dengan A_{sh} seperti berikut:

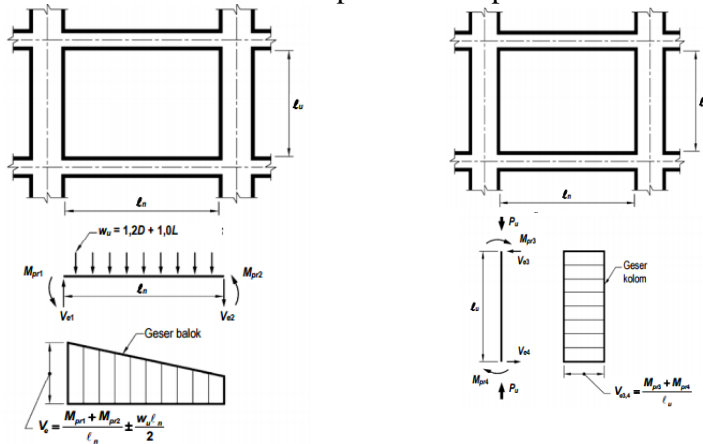
$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,25 \times \pi \times n \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 4 \times 13^2 \\ &= 1062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi tulangan transversal pakai adalah 4 kaki D13 – 100.

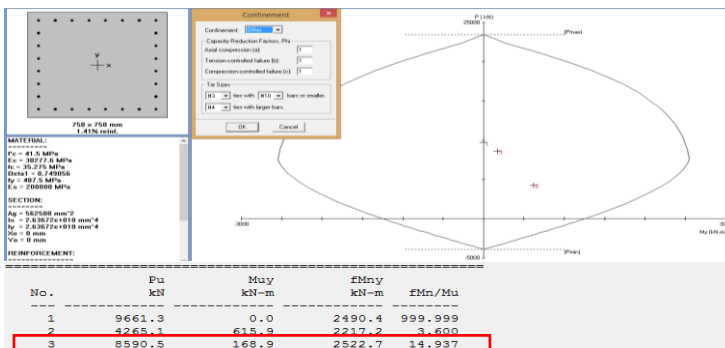
- Spasi tulangan transversal diluar l_0 :
Diluar panjang l_0 , kolom harus mengandung tulangan spiral atau sengkang dengan spasi minimum yang memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.5, berikut:
 - $S \leq 6 \text{ db} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$
 - $S \leq 150 \text{ mm}$
 Jadi nilai S tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai diatas, maka S pakai adalah 110 mm.

- Kontrol kekuatan tulangan transversal pada kolom.
Tulangan transversal sebagai penahan gaya geser harus didesain dengan gaya geser V_e dimana nilainya tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor dari analisa struktur dan momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen yang dihasilkan oleh M_{pr} balok yang berada pada joint balok-kolom yang sama dimana nilainya diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5.1, dan dapat dihitung seperti pada gambar 7.18.
Nilai M_{pr} kolom didapat dari diaram interaksi kolom yang menghasilkan nilai momen terfaktor terbesar akibat beban P_u terfaktor dengan menggunakan nilai $f_s = 1,25 f_y$ dan $\phi = 1$ dimana nilai tersebut adalah

kekuatan leleh yang ditetapkan. Untuk nilai Mpr kolom struktur ini dapat dilihat pada gambar 7.19 dimana kolom atas dan bawah memiliki nilai yang sama karena kolom lantai 1-5 merupakan satu tipe kolom.



Gambar 7.22 Gaya geser desain untuk kolom dan balok



Gambar 7.23 Nilai Mpr kolom K1

Jadi, dari diagram interaksi kolom pada gambar 7.19 didapatkan nilai Mpr untuk Kolom Atas dan bawah adalah 2522,7 kN.m, diaman nilai Mpr untuk kolom tidak perlu diambil lebih besar dari nilai Mpr balok 255 kN.m. Maka

nilai M_{pr} pakai untuk perhitungan V_e yaitu M_{pr} dari balok dan nilainya tidak boleh diambil kurang dari V_u output SAP.

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} \\
 &= \frac{255046765 + 255046765}{3600} \\
 &= 141693 \text{ N} \\
 &= 141,7 \text{ kN} \geq V_u = 115,4 \text{ kN} \rightarrow \text{Okay}
 \end{aligned}$$

- Kontrol gaya geser nominal
Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1 kuat geser nominal harus memenuhi persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 V_e &\leq \phi V_n \\
 V_e &\leq \phi (V_s + V_c)
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 V_n &= \text{Gaya geser nominal} \\
 V_s &= \text{Gaya geser tulangan} \\
 V_c &= \text{Gaya geser beton}
 \end{aligned}$$

➤ Gaya geser beton

Gaya geser beton dapat diabaikan ($V_c = 0$) sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.2 bila beberapa syarat berikut ini terpenuhi:

$$\begin{aligned}
 1. \quad V_e &\geq 0,5 \cdot V_u \\
 141,7 \text{ kN} &\geq 0,5 \cdot 115,4 \text{ N} \\
 141,7 \text{ kN} &\geq 57,7 \text{ kN} \quad (\text{Okay})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad P_u &\leq \frac{A_g \cdot f'_c}{10} \\
 4265107 \text{ N} &\leq \frac{(750 \cdot 750) \cdot 41,5}{10} \\
 4265107 \text{ N} &\leq 2334375 \text{ N} \\
 4265,1 \text{ kN} &> 2334,4 \text{ kN} \quad (\text{Not Okay})
 \end{aligned}$$

Jadi penampang perlu ditinjau terhadap nilai V_c nya.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2 untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial, maka nilai V_c nya :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{96613,5}{14 \cdot (750 \times 750)} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} \cdot 750 \cdot 687,5 \\ &= 571613,7 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Gaya geser tulangan

Untuk nilai gaya geser tulangan (V_s) dihitung berdasarkan tulangan confinement (A_{sh}) dan spasi (S) terpasang sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.2, berikut:

$$V_s = \frac{A_{sh} \cdot f_{yt} \cdot d}{S} = \frac{1061,9 \cdot 390 \cdot 687,5}{100} = 2847107,6 \text{ N}$$

Jadi kontrol untuk gaya geser nominal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_n &= V_s + V_c \\ &= 2847107,6 + 571613,7 \\ &= 3418721,3 \text{ N} = 3418,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek,

$$V_e \leq \phi V_n$$

$$141,7 \text{ kN} \leq 0,75 \times 3418,7 \text{ kN}$$

$$141,7 \text{ kN} \leq 2564 \text{ kN} \quad (\text{Okay})$$

Maka tulangan transversal sebagai confinement 4 kaki D13-100 dapat digunakan sejarak 600 mm dari muka joint dan 4 kaki D13-110 diluar dari jarak tersebut untuk tipe kolom K1.

Penyaluran Sambungan Tulangan Vertikal Kolom

Sambungan tulangan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan l_d yang ditentukan oleh SNI 2847:2013 Pasal 12.2.3, dimana:

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (a))}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (b))}$$

$$\psi_s = 0,8 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (c))}$$

$$\lambda = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (d))}$$

$$Cb = 62,5$$

$$Ktr = 0 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3 (d))}$$

Panjang penyaluran dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 pasal 12.2.3:

$$\frac{Cb + Ktr}{db} < 2,5 \rightarrow \frac{62,5 + 0}{19} < 2,5 \rightarrow 3,29 < 2,5 \rightarrow \text{pakai } 2,5$$

$$\begin{aligned} Ld &= \left(\frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \times \frac{\psi_t \cdot \psi_a \cdot \psi_s}{\left(\frac{Cb + Ktr}{db} \right)} \right) \times db \\ &= \left(\frac{390}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5}} \times \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,8}{(2,5)} \right) \times 19 \\ &= 334,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 12.15, sambungan lewatan harus diletakan di tengah panjang kolom dan harus dihitung sebagai sambungan tarik. Karena seluruh tulangan pada panjang lewatan disambung, maka sambungan lewatan termasuk kelas B. Sehingga panjang penyaluran untuk kelas B adalah:

$$1,3 \cdot Ld = 1,3 \cdot 334,62 = 435,006 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Panjang Penyaluran pada Ujung Joint

Untuk diameter 10 – 36, panjang penyaluran L_{dh} untuk batang tulangan dengan kait 90 derajat pada beton normal tidak boleh kurang dari yang terbesar. Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.7.5.1.

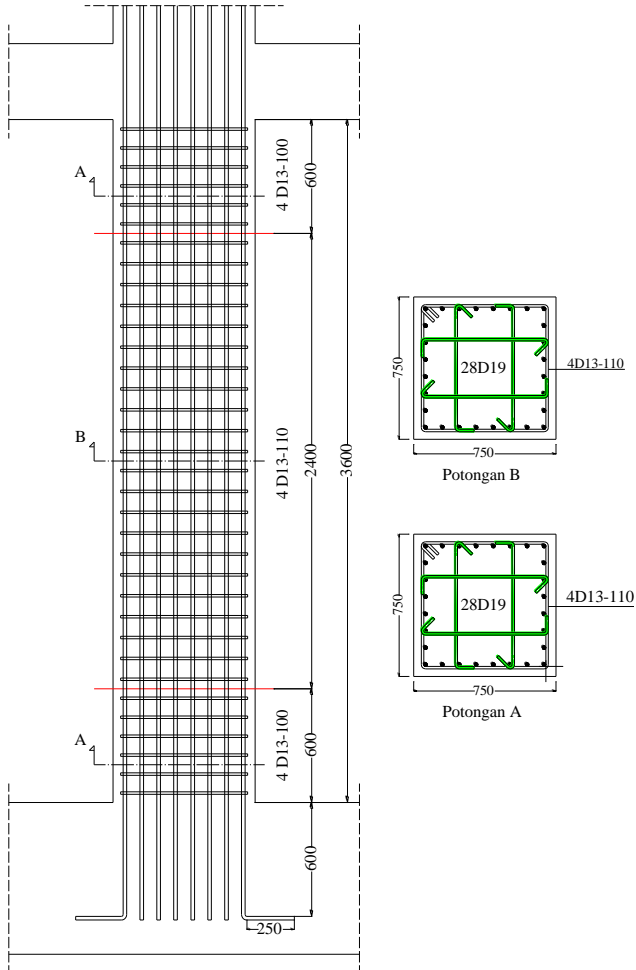
$$L_{dh} \geq 8 \cdot db = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$L_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$L_{dh} \geq \frac{f_y \cdot d_b}{5,4 \cdot \sqrt{f'c}} = \frac{390,19}{5,4 \cdot \sqrt{41,5}} = 213,01 \text{ mm}$$

Jadi, digunakan $L_{dh} = 250 \text{ mm}$

Sket hasil perhitungan tulangan kolom:



Gambar 7.24 Sket hasil perhitungan penulangan kolom tipe K1

Resume penulangan kolom:

Dengan cara yang sama didapatkan resume penulangan kolom dari masing-masing tipe kolom seperti pada tabel 7.4.

Tabel 7.4 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe kolom

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulangan Pasang | | |
|------|---------|------|-----|--------|------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------|------------|
| | B | H | L | | Axial | M _x | M _y | Lentur | G _{sr} _{tump.} | G _{sr} _{lap.} | Lentur | Geser Tump. | Geser Lap. |
| | (m) | (m) | (m) | | (T) | (T.m) | (T.m) | (mm ²) | (mm ² /mm) | (mm ² /mm) | | | |
| K1 | 0.75 | 0.75 | 4 | Combo1 | 9661.3 | 0.002 | 0.0032 | 7931.3 | 10.62 | 9.653 | 28 D19 | 4 D13-100 | 4 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 4265.1 | 69.825 | 615.86 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 8590.5 | 259.08 | 168.88 | | | | | | |
| K2 | 0.7 | 0.7 | 3 | Combo1 | 8095.4 | 0.0116 | 0.0055 | 6811 | 10.62 | 9.653 | 24 D19 | 4 D13-100 | 4 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 5873.5 | 25.465 | 198.6 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 6161 | 109.99 | 21.741 | | | | | | |
| K3 | 0.65 | 0.65 | 3 | Combo1 | 6777.4 | 0.0224 | 0.012 | 5661.5 | 7.964 | 7.24 | 20 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 1925.6 | 36.601 | 940.98 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 3736.1 | 444.48 | 121.97 | | | | | | |
| K4 | 0.6 | 0.6 | 3 | Combo1 | 5543.2 | 0.0248 | 0.0314 | 4536 | 7.964 | 7.24 | 16 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 4238.5 | 30.618 | 170.88 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 3833.8 | 127.8 | 28.203 | | | | | | |

Tabel 7.4 Resume kebutuhan tulangan tiap tipe kolom (Lanjutan)

| Tipe | Dimensi | | | Ket. | Gaya Dalam | | | AS _{Pasang} | | | Tulangan Pasang | | |
|------|---------|------|-----|--------|------------|----------------|----------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------|------------|
| | B | H | L | | Axial | M _x | M _y | Lentur | G _{sr_{tump.}} | G _{sr_{lap.}} | Lentur | Geser Tump. | Geser Lap. |
| | (m) | (m) | (m) | | (T) | (T.m) | (T.m) | (mm ²) | (mm ² /mm) | (mm ² /mm) | | | |
| K5 | 0.55 | 0.55 | 3 | Combo1 | 4305.3 | 0.0436 | 0.0344 | 4537.5 | 7.964 | 7.24 | 16 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 738.08 | 25.446 | 589.49 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 1834.7 | 325.68 | 92.799 | | | | | | |
| K6 | 0.5 | 0.5 | 3 | Combo1 | 3146.2 | 0.0459 | 0.0591 | 4550 | 7.964 | 7.24 | 16 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 2740.7 | 22.027 | 471.84 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 1958.3 | 282.36 | 20.844 | | | | | | |
| K7 | 0.45 | 0.45 | 3 | Combo1 | 1977.1 | 0.0671 | 0.0543 | 4200 | 7.964 | 7.24 | 12 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 477.4 | 7.5495 | 136.69 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 851.1 | 144.48 | 19.393 | | | | | | |
| K8 | 0.4 | 0.4 | 3 | Combo1 | 836.1 | 0.0753 | 0.062 | 5325 | 7.964 | 7.24 | 12 D19 | 3 D13-100 | 3 D13-110 |
| | | | | Combo2 | 45.639 | 6.5979 | 177.05 | | | | | | |
| | | | | Combo3 | 119.74 | 205.34 | 21.987 | | | | | | |

7.1.3 Desain Hubungan Balok Kolom:

Desain HBK direncanakan sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.7, dimana pasal tersebut berlaku untuk HBK dengan sistem struktur khusus (SRPMK) yang dapat dihitung sebagai berikut:

Syarat panjang joint :

Untuk beton normal, dimensi kolom yang sejajar tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok SNI 2847:2013 Pasal 21.7.2.3.

$$b = h = 750 \text{ mm} > 20 \text{ db}$$

$$750 \text{ mm} > 20 \times 19 \text{ mm}$$

$$750 \text{ mm} > 380 \text{ mm} \quad (\text{Okay})$$

Kebutuhan tulangan geser joint :

Untuk joint interior, bilamana balok merangka ke dalam empat sisi joint maka jumlah tulangan diizinkan direduksi dengan setengahnya dari tulangan yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom. Spasi vertical tulangan ini diizinkan untuk ditingkatkan sampai 150 mm SNI 2847:2013 Pasal 21.7.3.2.

- Syarat reduksi kebutuhan tulangan geser joint:

$$b_w \geq 0,75 b_{klm}$$

$$300 \text{ mm} \geq 0,75 \times 750 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \geq 562,5 \text{ mm} \quad (\text{Not Okay})$$

- Kebutuhan tulangan :

$$\frac{A_{sh}}{S} = \frac{629,2}{100} = 6,292 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

senggang pakai, 4 D13 – 100 dengan $A_{sh} = 1062 \text{ mm}^2$

$$S \leq \frac{1062}{6,292} = 168,8 \text{ mm}$$

$$S \leq 100 \text{ mm}$$

Jadi, tulangan transversal pakai untuk HBK adalah 4 kaki D13-100.

Gaya geser pada joint:

- Arah sb. X :

➤ Nilai $M_{pr} -$:

As tul. atas balok : 6 D19 ($A_s = 1701 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} T_1 &= A_s \times 1,25 \times f_y \\ &= 1701 \times 1,25 \times 390 \\ &= 829321,56 \text{ N} \end{aligned}$$

$$a_{pr} = \frac{T_1}{0,85 \cdot f'_{c.b}} = \frac{829321,56}{0,85 \cdot 41,5 \cdot 300} = 78,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= T_1 \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\ &= 829321,56 \times \left(331 - \frac{78,4}{2} \right) \\ &= 242009604,9 \text{ N.mm} \\ &= 242,01 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

➤ Nilai $M_{pr} +$:

As tul. bawah balok : 4 D19 ($A_s = 1134 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} T_2 &= A_s \times 1,25 \times f_y \\ &= 1134 \times 1,25 \times 390 \\ &= 552881,04 \text{ N} \end{aligned}$$

$$a_{pr} = \frac{T_2}{0,85 \cdot f'_{c.b}} = \frac{552881,04}{0,85 \cdot 41,5 \cdot 300} = 52,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= T_2 \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\ &= 552881,04 \times \left(331 - \frac{52,2}{2} \right) \\ &= 168561032,16 \text{ N.mm} \\ &= 168,56 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen yang timbul pada HBK :

$$M_u = \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{2} = \frac{242,01 + 168,56}{2} = 205,3 \text{ kN.m}$$

Gaya geser yang timbul :

$$V_u = \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{Ln} = \frac{242,01 + 168,56}{2,75} = 149,3 \text{ kN}$$

Maka gaya geser arah X adalah :

$$\begin{aligned} V_{ux} &= T_1 + T_2 - V_u \\ &= 829,3 + 552,9 - 149,3 \\ &= 1232,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi, nilai V_u arah Y tidak di cek karena V_u arah X yang lebih menentukan karena luas tulangan balok lebih besar.

Kontrol kuat geser joint:

Untuk kuat geser joint pada kasus-kasus lain disyaratkan sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.7.4.1, sebagai berikut:

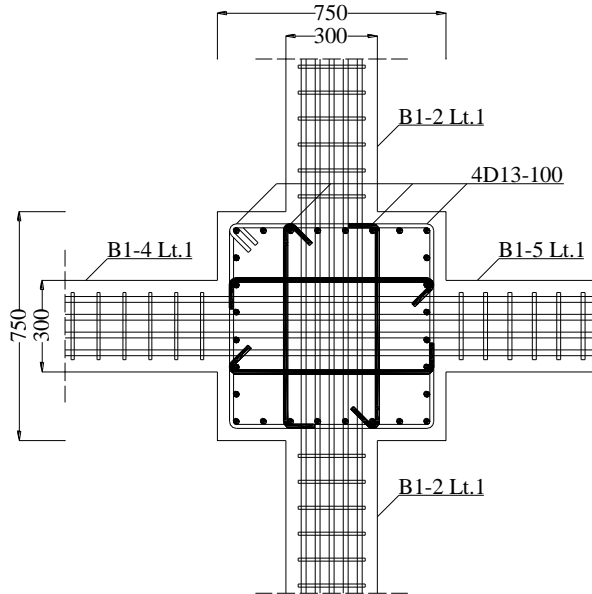
$$\begin{aligned} V_n &= 1,0 \times \sqrt{f'c} \times A_j \\ &= 1,0 \times \sqrt{41,5} \times (750 \times 750) \\ &= 3623652,8 \text{ N} \\ &= 3623,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek,

$$\begin{aligned} V_{ux} &\leq \phi V_n \\ 1232,9 \text{ kN} &\leq 0,75 \times 3623,65 \text{ kN} \\ 1232,9 \text{ kN} &\leq 2717,7 \text{ kN} \quad \textbf{(Okay)} \end{aligned}$$

Sket hasil perhitungan tulangan HBK:

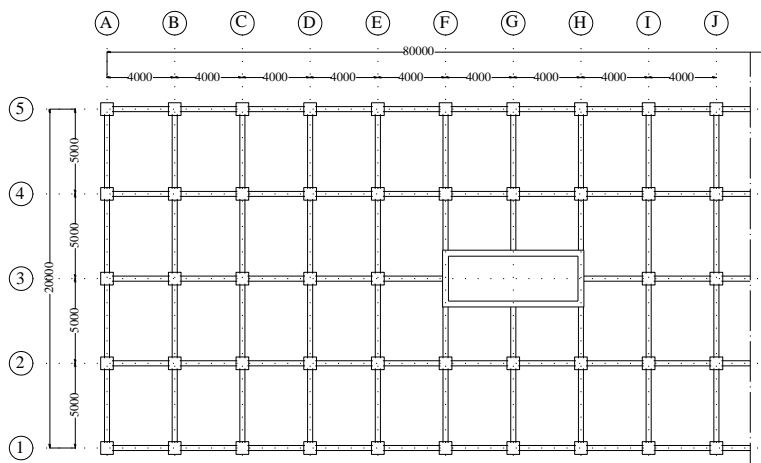
Dari perhitungan di atas maka didapat sket penulangan pada HBK seperti pada gambar 7.21 berikut:



Gambar 7.25 Sket hasil perhitungan tulangan pada HBK

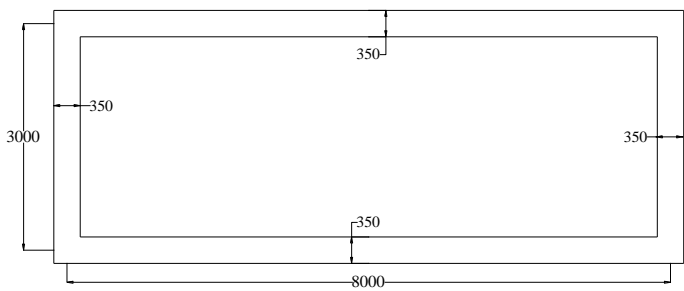
7.1.4 Shear Wall

Pada sistem *shearwall* dan *outrigger*, *shearwall* berperan sebagai inti dari bangunan (*corewall*). Dimana pada bangunan ini *shearwall* direncanakan menggunakan tata cara perencanaan untuk dinding struktur khusus sesuai dengan SNI 2847:2013. Untuk lokasi *shearwall* yang ditinjau dapat dilihat pada gambar 7.22.



Gambar 7.26 Lokasi shearwall yang ditinjau

Detail penampang *shearwall* seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.23 berikut ini:



Gambar 7. 27 Detail penampang shearwall

Data perencanaan:

| | | | |
|--------------------------|-------------------|-----------|-------|
| Tebal <i>shearwall</i> | (h) | = 350 mm | |
| Tinggi <i>shearwall</i> | (h _w) | = 4000 mm | |
| Panjang <i>shearwall</i> | (l _y) | = 3000 mm | Σ = 2 |
| | (l _x) | = 8000 mm | Σ = 2 |
| Tebal selimut | (s) | = 40 mm | |

| | | |
|-------------------|-------|------------|
| Tul. longitudinal | (D) | = 22 mm |
| Tul. transversal | (D) | = 22 mm |
| Mutu tulangan | (fy) | = 390 MPa |
| Mutu beton | (f'c) | = 41,5 Mpa |

Analisa gaya dalam:

Untuk gaya dalam *shearwall* didapat dari *output* SAP. Agar mendapat gaya dalam secara satu kesatuan *shearwall*, maka pada program bantu SAP beberapa elemen *shearwall* yang telah dimodelkan disatukan menggunakan *section cut*. Sehingga didapat gaya dalam dari beberapa kombinasi pembebanan seperti yang disajikan pada tabel 7.5 berikut ini:

Tabel 7.5 Output gaya dalam shearwall

| Combo | P (T) | V sb-Y (T) | Vsb-X (T) | M sb-X (T.m) | M sb-Y (T.m) |
|-----------------|----------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1,2D+1,6L+0,5Lr | 6365,40 | 4,82 | 0,00027 | 0,128 | 21,21 |
| 1,2D+1L+Ey | 5938,27 | 617,88 | 124,91 | 2877,20 | 15922,43 |
| 1,2D+1L+Ex | 5937,59 | 182,73 | 416,00 | 9590,77 | 4791,90 |

Semua kombinasi beban pada tabel 7.5 di-*input* kedalam program bantu SpColumn untuk perencanaan tulangan longitudinal. Sedangkan untuk perencanaan tulangan geser (transversal) dilakukan secara manual, dengan menggunakan gaya geser dari kombinasi yang menentukan. Sehingga didapat gaya dalam sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll}
 P_u = 5938,27 \text{ T} & V_x = 124,91 \text{ kN} & M_x = 2877,20 \text{ T.m} \\
 & V_y = 617,88 \text{ kN} & M_y = 15922,43 \text{ T.m}
 \end{array}$$

Cek dimensi penampang terhadap gaya geser terfaktor:

Sesuai dengan ketentuan pada SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 maka didapat:

- Untuk dinding arah X

$$V_{nx} = \frac{V_{ux}}{\varphi} = \frac{124,91}{0,75} = 166,5 \text{ T} = 1697,7 \text{ kN}$$

$$A_{cvx} = l_x \cdot h = 8000 \cdot (350.2) = 5600000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{max} &= 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c} \\ &= 0,66 \cdot 5600000 \cdot \sqrt{41,5} \\ &= 23809814 \text{ N} = 23810 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek:

$$\begin{aligned} V_{nx} &\leq V_{max} \\ 1697,7 \text{ kN} &\leq 23810 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Untuk dinding arah Y

$$V_{ny} = \frac{V_{uy}}{\varphi} = \frac{617,88}{0,75} = 823,8 \text{ T} = 8398 \text{ kN}$$

$$A_{cvy} = l_y \cdot h = 3000 \cdot (350.2) = 2100000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{max} &= 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c} \\ &= 0,66 \cdot 2100000 \cdot \sqrt{41,5} \\ &= 8928680,4 \text{ N} = 8928,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek:

$$\begin{aligned} V_{ny} &\leq V_{max} \\ 8398 \text{ kN} &\leq 8928,7 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jumlah lapis tulangan yang dibutuhkan:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2 jika $V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$ maka harus dipasang dua lapis tulangan atau lebih.

Cek:

- Dinding arah X

$$A_{cv} = l_x \cdot h = 8000 \cdot (350.2) = 5600000 \text{ mm}^2$$

$$V_{ux} > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$$

$$1273,7 \text{ kN} > 0,17 \cdot 5600000 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5}$$

$$1273,3 \text{ kN} > 6132831 \text{ N}$$

$$1273,3 \text{ kN} < 6132,8 \text{ kN} \text{ (*gunakan 1 lapis tulangan*)}$$

- Dinding arah Y

$$A_{cv} = l_y \cdot h = 3000 \cdot (350 \cdot 2) = 2100000 \text{ mm}^2$$

$$V_{ux} > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$$

$$6298,5 \text{ kN} > 0,17 \cdot 2100000 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5}$$

$$6298,5 \text{ kN} > 2299811,6 \text{ N}$$

$$6298,5 \text{ kN} > 2300 \text{ kN} \text{ (*gunakan 2 lapis tulangan*)}$$

Maka untuk memudahkan pelaksanaan, untuk kedua arah dipasang 2 lapis tulangan (yang menentukan).

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan beton:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.6 kuat geser beton (V_c) untuk dinding diambil yang terkecil dari:

- Dinding arah X

$$d = 0,8 \times l_x = 0,8 \times 8000 = 6400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(0,27 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \right) + \left(\frac{P_u \cdot d}{4 \cdot l_x} \right) \\ &= \left(0,27 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} \cdot (2 \cdot 350) \cdot 6400 \right) + \left(\frac{30,3 \cdot 10^6 \cdot 6400}{4 \cdot 8000} \right) \\ &= 13845584,8 \text{ N} = 13845,58 \text{ kN} \dots (i) \\ V_c &= \left(0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + \frac{l_x \cdot \left(0,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + 0,2 \cdot \frac{P_u}{A_{cvx}} \right)}{\frac{M_{ux}}{V_{ux}} - \frac{l_x}{2}} \right) \cdot h \cdot d \\ &= \left(0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + \frac{8000 \cdot \left(0,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + 0,2 \cdot \frac{30,3 \cdot 10^6}{56 \cdot 10^5} \right)}{\frac{15 \cdot 10^9}{6,4 \cdot 10^5} - \frac{8000}{2}} \right) \cdot (350 \cdot 2) \cdot 6400 \\ &= 4691365,1 \text{ N} = 4691,37 \text{ kN} \dots (ii) \end{aligned}$$

Maka dipakai $V_c = 4691,37 \text{ kN}$ (menentukan dari (i),(ii))

- Dinding arah Y

$$d = 0,8 \times l_y = 0,8 \times 3000 = 2400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(0,27 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \right) + \left(\frac{P_u \cdot d}{4 \cdot l_y} \right) \\ &= \left(0,27 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} \cdot (2.350) \cdot 2400 \right) + \left(\frac{30,3 \cdot 10^6 \cdot 2400}{4 \cdot 3000} \right) \\ &= 9410798 \text{ N} = 9410,80 \text{ kN} \dots(i) \\ V_c &= \left(\frac{l_y \cdot \left(0,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + 0,2 \cdot \frac{P_u}{A_{cwy}} \right)}{0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + \frac{\frac{M_{uy}}{V_{uy}} - \frac{l_y}{2}}}{h \cdot d} \right) \\ &= \left(\frac{3000 \cdot \left(0,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + 0,2 \cdot \frac{30,3 \cdot 10^6}{21 \cdot 10^5} \right)}{0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + \frac{\frac{81,2 \cdot 10^9}{31,5 \cdot 10^5} - \frac{3000}{2}}}{(350 \cdot 2) \cdot 2400} \right) \\ &= 1316577,5 \text{ N} = 1316,58 \text{ kN} \dots(ii) \end{aligned}$$

Maka dipakai $V_c = 1316,58 \text{ kN}$ (menentukan dari (i),(ii))

Perhitungan tulangan transversal penahan geser:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.9.3 spasi tulangan geser horisontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$\frac{l_w}{5} = \frac{3000}{5} = 600 \text{ mm}$$

$$3 \cdot h = 3 \times 350 = 1050 \text{ mm}$$

$$450 \text{ mm}$$

Hitung kebutuhan tulangan transversal untuk menahan geser:

- Dinding arah X

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \cdot V_c \\ 1273.30 \text{ kN} &\leq 0.75 \cdot 4691,37 \text{ kN} \\ 1273.30 \text{ kN} &\leq 3518,52 \text{ kN} \quad (\text{Okay}) \end{aligned}$$

Karena hasil dari control persamaan diatas terpenuhi, maka secara umum beton sudah mampu memikul gaya geser yang terjadi. Namun ada baiknya tetap dipasang tulangan transversal agar lebih aman. Direncanakan tulangan 2D 22 dengan jarak (s) 400 mm.

$$A_{vt} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760,3 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{760,3 \cdot 390 \cdot 6400}{400} = 4744056,2 \text{ N}$$

Cek:

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \cdot (V_c + V_s) \\ 1273.30 \text{ kN} &\leq 0.75 \cdot (4691,37 + 4744,06) \\ 1273.30 \text{ kN} &\leq 7076,57 \text{ kN} \quad (\text{Okay}) \end{aligned}$$

- Dinding arah Y

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \cdot V_c \\ 3149,24 \text{ kN} &\leq 0.75 \cdot 1316,58 \text{ kN} \\ 3149,24 \text{ kN} &> 987.43 \text{ kN} \quad (\text{Not Okay}) \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan 2 D22 dengan jarak (s) 200 mm.

$$A_{vt} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760,3 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{760,3 \cdot 390 \cdot 2400}{200} = 3558042,2 \text{ N}$$

Cek:

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \cdot (V_c + V_s) \\ 3149,24 \text{ kN} &\leq 0.75 \cdot (1316,58 + 3558,04) \\ 3149,24 \text{ kN} &\leq 3655,96 \text{ kN} \quad (\text{Okay}) \end{aligned}$$

Cek batas minimum tulangan transversal sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1:

- Dinding arah X

$$P_t = \frac{A_v}{txS} = \frac{760,27}{350 \times 400} = 0,0054 > 0,0025 \text{ (Okay)}$$

- Dinding arah Y

$$P_t = \frac{A_v}{txS} = \frac{760,27}{350 \times 200} = 0,0109 > 0,0025 \text{ (Okay)}$$

Menentukan kuat geser nominal penampang:

Sesuai dengan syarat pada SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 bahwa nilai $V_n \leq A_{cv} \cdot (\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \rho_t \cdot f_y)$ maka:

- Dinding arah X

$$V_n = V_c + V_s = 4691,37 + 4744,06 = 9435,42 \text{ kN ... (i)}$$

$$\frac{h_w}{l_x} = \frac{4000}{8000} = 0,5 \leq 1,5 \rightarrow \alpha_c = 0,25$$

$$V_n = 2800000 \cdot (0,25 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + 0,0054 \cdot 390)$$

$$= 10439505 \text{ N} \rightarrow 10439,51 \text{ kN (ii)}$$

$$V_{nx} = 9435,42 \text{ kN (menentukan dari (i), (ii))}$$

- Dinding arah Y

$$V_n = V_c + V_s = 1316,58 + 3558,04 = 4874,62 \text{ kN ... (i)}$$

$$\frac{h_w}{l_x} = \frac{4000}{3000} = 1,3 \leq 1,5 \rightarrow \alpha_c = 0,25$$

$$V_n = 1050000 \cdot (0,25 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + 0,0109 \cdot 390)$$

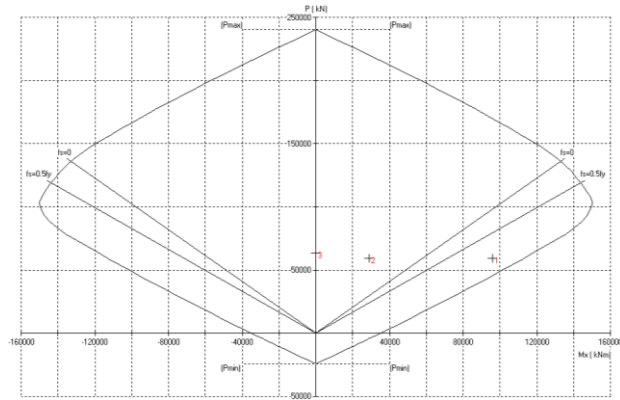
$$= 6138590,7 \text{ N} \rightarrow 6138,59 \text{ kN (ii)}$$

$$V_{ny} = 4874,62 \text{ kN (menentukan dari (i), (ii))}$$

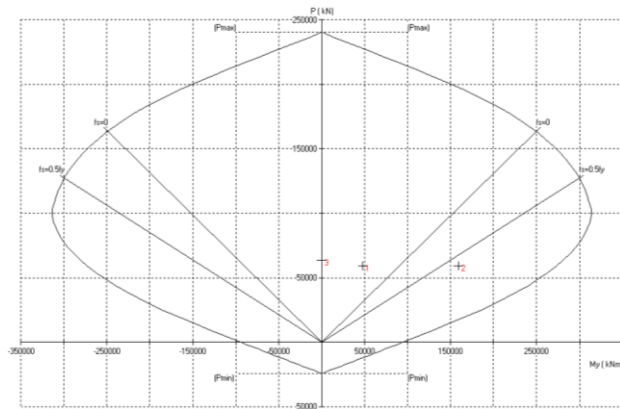
Perhitungan tulangan penahan aksial dan lentur:

Direncanakan untuk dinding arah Y menggunakan tulangan 2 lapis D22-200 dan arah X menggunakan tulangan 2 lapis D22-300. Dengan program bantu SpColumn, penampang seperti pada gambar 7.23 dimodelkan dan diberi tulangan seperti yang direncanakan. Semua kombinasi beban pada tabel 7.5 di-input pada

SpColumn. Sehingga didapat diagram interaksi seperti pada gambar 7.24 untuk arah X dan gambar 7.25 untuk arah Y.



Gambar 7.28 Diagram interaksi *shearwall* (arah X)



Gambar 7.29 Diagram interaksi *shearwall* (arah Y)

Dari SpColumn didapat nilai rasio tulangan (ρ) *shearwall* sebesar 0,86%. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1 rasio tulangan harus memenuhi:
 $0,0086 > 0,0025$ (**Okay**)

Cek kebutuhan elemen pembatas khusus:

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.2 elemen pembatas khusus desain berbasis perpindahan diperlukan bila $c \geq$

$$\frac{l_w}{600 \cdot \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)}$$

- Dinding arah X

$\delta_x = 0,4 \text{ mm}$ (tabel 6.22 untuk perpindahan Lt.1)

$c = 4007 \text{ mm}$ (*Output SpColumn*)

Cek:

$$\frac{\delta_x}{h_w} \geq 0,007 \rightarrow \frac{0,4}{4000} \geq 0,007 \rightarrow 0,0001 < 0,007 \rightarrow \mathbf{0,007}$$

$$\frac{l_w}{600 \cdot \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} = \frac{8000}{600 \cdot 0,007} = 1905 \text{ mm}$$

Maka:

$$c \geq \frac{l_w}{600 \cdot \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} \rightarrow 4007 \text{ mm} > 1905 \text{ mm}$$

Diperlukan elemen pembatas khusus, dengan panjang tidak boleh lebih kecil dari:

$$c - 0,1.l_x = 4007 - (0,1 \times 300) = 3707 \text{ mm} \dots(i)$$

$$c/2 = 4007/2 = 2004 \text{ mm} \dots(ii)$$

Maka digunakan $3707 \text{ mm} \approx 3750 \text{ mm}$ (menentukan dari (i),(ii)). Didistribusikan pada kedua dinding sehingga 1875 mm tiap sisi.

- Dinding arah Y

$\delta_x = 3,9 \text{ mm}$ (tabel 6.23 untuk perpindahan Lt.1)

$c = 436 \text{ mm}$ (*Output SpColumn*)

Cek:

$$\frac{\delta_x}{h_w} \geq 0,007 \rightarrow \frac{3,9}{4000} \geq 0,007 \rightarrow 0,001 < 0,007 \rightarrow \mathbf{0,007}$$

$$\frac{l_w}{600 \cdot \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} = \frac{3000}{600 \cdot 0,007} = 714 \text{ mm}$$

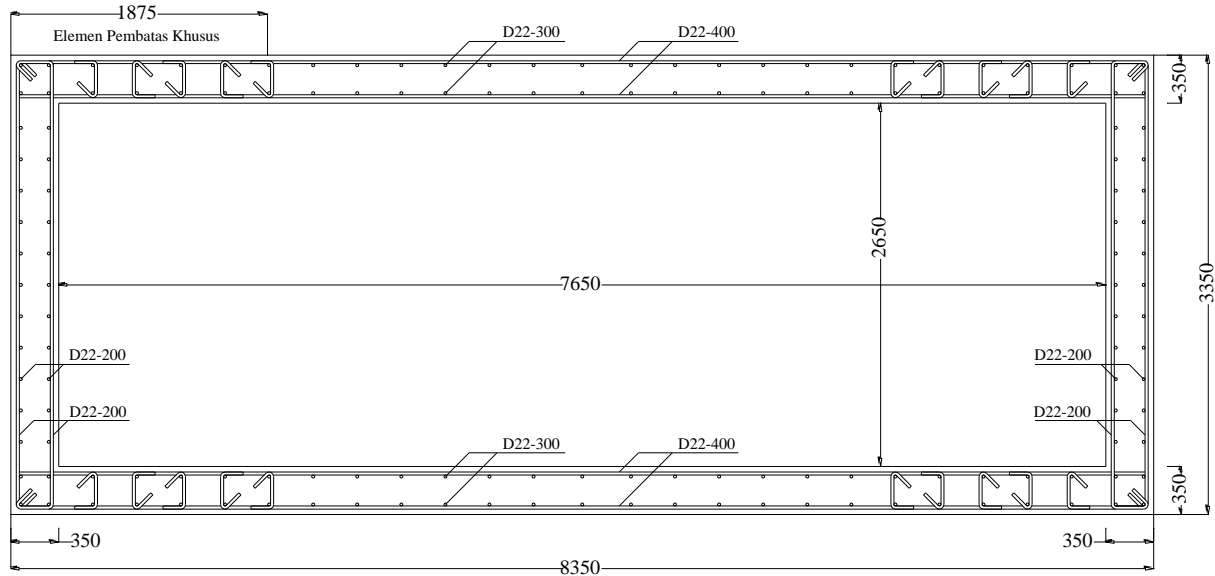
Maka:

$$c \geq \frac{l_w}{600 \cdot \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} \rightarrow 436 \text{ mm} < 714 \text{ mm}$$

Maka dinding arah Y tidak memerlukan elemen pembatas khusus.

Sket hasil perhitungan tulangan shearwall :

Dari hasil perhitungan tulangan, maka didapat sket penulangan *shearwall* seperti pada gambar 7.26 berikut ini:



Gambar 7.30 Sket hasil perhitungan tulangan shearwall

7.2 Perencanaan Struktur Outrigger

Sistem *outrigger* dan *belt-truss* berperan penting dalam meningkatkan kekakuan bangunan, terutama pada bangunan bertingkat tinggi. Dimana pada bangunan bertingkat tinggi umumnya kekuatan bangunan sudah memenuhi, namun simpangan karena beban lateral belum memenuhi syarat. Sehingga digunakan sistem *outrigger* dan *belt-truss* sebagai alternatif pilihan untuk mengatasi masalah tersebut. Pada bab ini akan dibahas elemen struktur *outrigger* meliputi balok *outrigger*, dan *belt-truss* beserta sambungannya.

7.2.1 Balok Outrigger

Pada Struktur Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya ini elemen balok *outrigger* didesain menggunakan balok tinggi. Karena desainnya yang sama, maka sebagai contoh perhitungan akan didesain balok tinggi pada As F,1-2'. Dan hasil perhitungan lainnya akan disajikan pada lampiran dalam bentuk tabel.

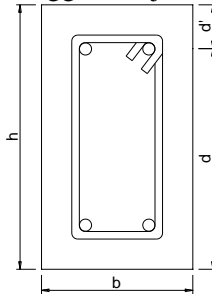
Data perencanaan:

| | | |
|----------------------|-------------------------|--|
| Tipe balok | | : BT-1 |
| Bentang balok | (L) | : 8500 mm |
| Bentang bersih balok | (L _n) | : 8000 mm |
| Dimensi balok | (b) | : 300 mm |
| | (h) | : 3000 mm |
| D. tulangan | (lentur) | : 19 mm → AS = 283,529 mm ² |
| | (geser) | : 13 mm → AS = 132,73 mm ² |
| Mutu tulangan | (lentur) f _y | : 390 Mpa |
| | (geser) f _y | : 390 Mpa |
| Selimut beton | (s) | : 40 mm |
| | | (SNI 2847:2013 pasal (7.7.1)) |
| Mutu beton | (f' _c) | : 41,5 Mpa |
| | (β ₁) | : $0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$ |
| | | (SNI 03-2847-2013 Ps.10.2.7.3) |

$$: 0,85 - 0,05 \frac{(41,5 - 28)}{7}$$

$$: 0,754$$

Tinggi efektif balok tinggi ditunjukkan gambar 7.18:



Gambar 7.31 Tinggi efektif balok tinggi

$$d = h \text{ balok} - s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$= 3000 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 19/2 \text{ mm}$$

$$= 2937,5 \text{ mm}$$

$$d' = s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$= 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + 19/2 \text{ mm}$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

Analisa gaya dalam:

Pada SAP balok tinggi dimodelkan menggunakan *shell*, maka untuk mengetahui gaya dalam dari balok tinggi digunakan *section cut*. Sehingga didapatkan gaya dalam sebagai berikut:

$$M_{\text{negatif}} = 301,40 \text{ T.m}$$

$$V_{\text{vertikal}} = 58,84 \text{ T}$$

$$M_{\text{positif}} = 278,42 \text{ T.m}$$

$$V_{\text{horizontal}} = 97,34 \text{ T}$$

Perhitungan tulangan longitudinal:

- **Atas**

→ Kebutuhan tulangan awal:

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d_x^2} = \frac{3072,35 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 2937,5^2} = 1,319 \text{ N/mm}^2$$

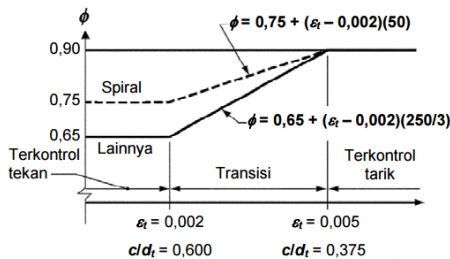
$$m = \frac{f_y}{0,85 x f'c} = \frac{390}{0,85 \times 41,5} = 11,06$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 1,319}{390}} \right) \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,0034 \times 300 \times 2937,5 \\ &= 3037,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 7.28.



Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t)) - (5/3)]$

Gambar 7.32 Zona Batas Regangan dan variase factor reduksi kekuatan ϕ dengan regangan tarik Neto ϵ_t

Dimana nilai $c \leq 0,375d_t$ untuk penampang terkontrol taarik.

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'c x b} = \frac{3037,7 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} = 111,95 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{111,95}{0,754} = 148,56 \text{ mm}$$

$$0,375 \cdot dt = 0,375 \times 2937,5 = 1101,6 \text{ mm}$$

Maka, $148,56 \text{ mm} \leq 1101,6 \text{ mm}$ (aumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{3072,35 \times 10^6}{0,9 \times 390 \times \left(2937,5 - \frac{111,95}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 3037,7 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum

Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d' \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{41,5}}{390} \times 300 \times 2937,5 \\ &= 3639,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d' \\ &= \frac{1,4}{390} \times 300 \times 2937,5 \\ &= 3163,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi, } A_{s \text{ Min.}} \leq A_{s \text{ Perlu}} \\ 3639,1 \text{ mm}^2 > 3037,7 \text{ mm}^2$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Min.}} = 3639,1 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s_{\text{Perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} = \frac{3639,1}{283,53} = 12,84 \approx 15 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{Pasang}}} &\geq A_{s_{\text{Perlu}}} \\ 15.283,53 &\geq 3639,1 \text{ mm}^2 \\ 4252,9 \text{ mm}^2 &\geq 3639,1 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)} \end{aligned}$$

→ Kontrol momen nominal

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{c x b}} = \frac{4252,9 x 390}{0,85 x 41.5 x 300} = 156,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi . A_s . f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 . 4252,9 . 390 \cdot \left(2937,5 - \frac{156,73}{2} \right) \\ &= 4268052738 \text{ N.mm} \rightarrow 4268,053 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Cek:

$$3072,35 \text{ kN.m} \leq 4268,053 \text{ kN.m (Okay)}$$

→ Kontrol jarak tulangan :

Tulangan dipasang 5 lapis, maka jarak antar tulangan tiap baris adalah:

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - (2xs) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{300 - (2x40) - (3x19) - (2x13)}{3 - 1} \\ &\approx 68,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \text{(Okay)} \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan tiap lapis:

$$\begin{aligned} S &= \frac{hw - (2xs) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{600 - (2x40) - (5x19) - (2x13)}{5 - 1} \\ &\approx 99,75 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \text{(Okay)} \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal pasang yaitu 15 D19.

- **Bawah**

→ Kebutuhan tulangan awal:

Asumsi penampang berada dalam kondisi terkontrol tarik ($\phi = 0,9$).

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d^2} = \frac{2838,15 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 2937,5^2} = 1,218 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 41,5} = 11,06$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,06 \times 1,218}{390}} \right) \\ &= 0,0032 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{Perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0032 \times 300 \times 2937,5 \\ &= 2801,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

→ Kontrol kondisi penampang

Kondisi penampang terkontrol tarik dapat dicek dengan gambar 7.28. Dimana nilai $c \leq 0,375 d_t$ untuk penampang terkontrol tarik.

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_c x b} = \frac{2801,9 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} = 103,26 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{103,26}{0,754} = 137,03 \text{ mm}$$

$$0,375 \cdot d_t = 0,375 \times 2937,5 = 1101,6 \text{ mm}$$

Maka, $137,03 \text{ mm} \leq 1101,6 \text{ mm}$ (asumsi awal benar penampang dalam kondisi terkontrol tarik).

→ Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{Mu}{\phi x f_y x \left(d_x - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq \frac{2838,15 \times 10^6}{0,9 \times 390 \times \left(2937,5 - \frac{103,26}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \leq 2801,9 \text{ mm}^2$$

→ Kontrol syarat kebutuhan tulangan minimum
 Pada setiap penampang, tulangan transversal harus disediakan minimum sesuai pasal 10.5.1 seperti berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min.}} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d' \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{41,5}}{390} \times 300 \times 2937,5 \\ &= 3639,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan, tidak boleh kurang dari;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d' \\ &= \frac{1,4}{390} \times 300 \times 2937,5 \\ &= 3163,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi, } A_{s \text{ Min.}} \leq A_{s \text{ Perlu}} \\ 3639,1 \text{ mm}^2 > 2801,9 \text{ mm}^2$$

Maka dalam perancangan gunakan $A_{s \text{ Min.}} = 3639,1 \text{ mm}^2$.

→ Menentukan jumlah tulangan transversal pakai

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{3639,1}{283,53} = 12,84 \approx 15 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ Pasang}} &\geq A_{s \text{ Perlu}} \\ 15.283,53 &\geq 3639,1 \text{ mm}^2 \\ 4252,9 \text{ mm}^2 &\geq 3639,1 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)} \end{aligned}$$

→ Kontrol momen nominal

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{4252,9 \times 390}{0,85 \times 41,5 \times 300} = 156,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 4252,9 \cdot 390 \cdot \left(2937,5 - \frac{156,73}{2} \right) \\ &= 4268052738 \text{ N.mm} \rightarrow 4268,053 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Cek:

$$3072,35 \text{ kN.m} \leq 2838,15 \text{ kN.m} \text{ (Okay)}$$

→ Kontrol jarak tulangan :

Tulangan dipasang 5 lapis, maka jarak antar tulangan tiap baris adalah:

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - (2xs) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (3 \times 19) - (2 \times 13)}{3 - 1} \\ &\approx 68,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \text{(Okay)} \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan tiap lapis:

$$\begin{aligned} S &= \frac{hw - (2xs) - (NxD.tul) - (2x\phi)}{N - 1} \\ &= \frac{600 - (2 \times 40) - (5 \times 19) - (2 \times 13)}{5 - 1} \\ &\approx 99,75 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \text{(Okay)} \end{aligned}$$

Maka tulangan transversal pasang yaitu 15 D19.

Desain tulangan geser:

Hitung V_u pada jarak $X = 0,15.l_n$ dari muka tumpuan:

$$X = 0,15 \times 8000 = 1200 \text{ mm dari muka tumpuan}$$

Didapat *output* SAP kombinasi 1,2D+1L sejauh 1200 mm dari muka tumpuan:

$$\begin{aligned} V_u &= 36,714 \text{ T (menentukan dari } V_{\text{horizontal}} \text{ dan } V_{\text{vertikal}}) \\ M_u &= 16,337 \text{ T.m} \end{aligned}$$

Cek penampang terhadap geser: (SNI 2847:2013 pasal 11.7.3)

$$\begin{aligned} V_c &= \phi \cdot 0,83 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,75 \cdot 0,83 \cdot \sqrt{41,5} \cdot 300 \cdot 2937,5 \\ &= 3533,97 \text{ kN} > 374,25 \text{ kN (Okay)} \end{aligned}$$

Kuat geser beton: (SNI 2847:2013 pasal 11.2.2.1)

$$V_c = \left(0,16 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + 17 \cdot \rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Dimana:

$$\left(\frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \leq 1 \rightarrow \left(\frac{374,25 \cdot 10^3 \cdot 2937,5}{166,53 \cdot 10^6} \right) \leq 1 \rightarrow 6,6 > 1$$

(pakai 1)

$$\rho_w = \frac{AS}{b_w \cdot d} = \frac{4252,93}{300 \cdot 2937,5} = 0,0048$$

Maka:

$$\begin{aligned} V_c &= (0,16 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} + 17 \cdot 0,0048 \cdot 1) \cdot 300 \cdot 2937,5 \\ &= 1385627,59 \text{ N(i)} \end{aligned}$$

Dan tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,29 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,29 \cdot 1 \cdot \sqrt{41,5} \cdot 300 \cdot 2937,5 \\ &= 1646346,24 \text{ N(ii)} \end{aligned}$$

Maka dipakai yang menentukan dari (i) dan (ii) = 1385627,59 N

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \times 1385627,59 = 1039220,7 \text{ N} \rightarrow 1039,22 \text{ kN}$$

Kebutuhan tulangan geser:

$$V_s = \frac{374,25 - 1039,22}{0,75} = 886,62 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser D13 dipasang di kedua sisi balok dengan posisi vertikal dan horisontal.

$$A_v = 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 13^2) = 265,46 \text{ mm}^2$$

Asumsi jarak tulangan horisontal sama dengan jarak tulangan vertikal:

$$s_h = s_v = s \text{ dan } \frac{l_n}{d} = \frac{8000}{2937,5} = 2,723 \text{ mm}$$

Maka:

$$V_s = \left\{ \frac{A_v}{S_v} \cdot \left(\frac{1 + l_n/d}{12} \right) + \frac{A_v}{S_h} \cdot \left(\frac{11 - l_n/d}{12} \right) \right\} \cdot f_y \cdot d$$

$$886,62 = \left\{ \frac{266}{S_v} \cdot \left(\frac{1 + 2,7}{12} \right) + \frac{266}{S_h} \cdot \left(\frac{11 - 2,7}{12} \right) \right\} \cdot 390 \cdot 2938$$

$$s = 343,01 \text{ mm}$$

Didapat jarak tulangan (s) = 343,01 mm \approx 200 mm

Cek syarat jarak maksimum tulangan geser dan luas tulangan minimum sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.7.4. Jarak tulangan tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $200 \text{ mm} \leq \frac{d}{5} = \frac{2937,5}{5} = 587,5 \text{ mm} \quad (\text{Okay})$
- $200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{Okay})$

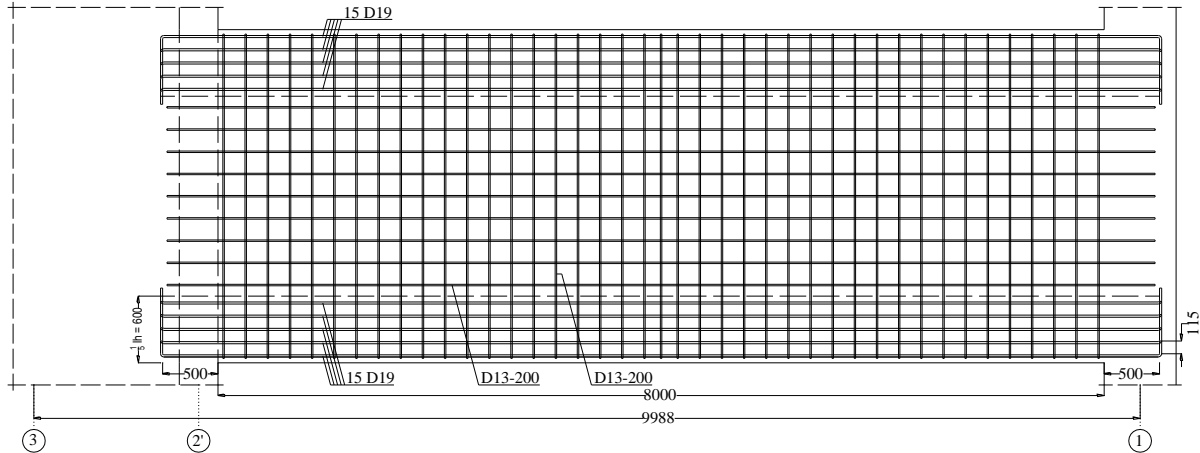
Dan luas tulangan geser pasang (A_v) harus lebih besar dari:

- $265,56 \text{ mm}^2 > 0,0025 \cdot b_w \cdot s_v = 0,0025 \cdot 300 \cdot 200 = 150 \text{ mm}^2$ (*Okay*)
- $265,56 \text{ mm}^2 > 0,0025 \cdot b_w \cdot s_h = 0,0025 \cdot 300 \cdot 200 = 150 \text{ mm}^2$ (*Okay*)

Maka digunakan tulangan geser **2 D13-200**

Sket hasil perhitungan tulangan:

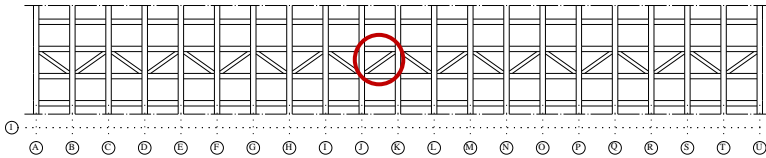
Dari hasil perhitungan, didapat sket penulangan balok tinggi seperti pada gambar 7.19 berikut ini:



Gambar 7.33 Sket hasil perhitungan penulangan balok tinggi As. F,1-2'

7.2.2 Belt Truss

Pada Struktur Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya ini elemen *belt truss* didesain menggunakan rangka baja yang mengacu pada SNI 1729:2015. Dimana elemen *belt truss* hanya didesain menerima gaya tarik dan tekan saja, untuk sambungan yang digunakan menggunakan sambungan tipe simple connector yang terdiri dari pelat landas dan baut mutu tinggi yang nilainya didesain sesuai pasal J. Untuk contoh perhitungan pada tugas akhir ini akan dilampirkan satu contoh dimana *belt truss* yang ditinjau yaitu pada As 1,J-K, yang dapat dilihat pada gambar 7.30 berikut:



Gambar 7.34 Lokasi *belt truss* yang ditinjau

Data perencanaan:

Tipe *belt truss* : BR-1
 Bentang *belt truss* (L) : 5000 mm
 Mutu Baja (BJ-41) (F_Y) : 250 Mpa
 (F_U) : 410 Mpa

Profil rencana: WF 400 x 400 x 13 x 21

| | | | | | |
|----------------|---|----------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| A | = 218,7 cm ² | t _w | = 13 mm | Z _y | = 1695 cm ³ |
| W | = 172 kg/m | t _f | = 21 mm | S _x | = 3330 cm ³ |
| d | = 400 mm | I _x | = 66600 cm ⁴ | S _y | = 1120 cm ³ |
| b | = 400 mm | I _y | = 22400 cm ⁴ | | |
| i _y | = 10,1 cm | r | = 22 mm | | |
| i _x | = 17,5 cm | Z _x | = 3600 cm ² | | |
| H | = d - 2.(t _f + r) = 400 - 2.(21 + 22) = 314 mm | | | | |

Analisa gaya dalam:

Gaya dalam yang didapat dari analisa struktur (SAP) hanya berupa gaya tarik dan tekan saja. Karena dalam pemodelannya elemen *belt truss* dirilis pada kedua ujungnya untuk menghilangkan momen yang terjadi sehingga gaya dalam yang didapatkan seperti berikut:

$P_u = R_u = 112065,1 \text{ kg}$ (beban bolak balik, maka $P_u = R_u$)

Kontrol kekuatan batang tarik:

- Kontrol kelangsingan
Untuk komponen struktur yang dirancang dalam tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300 sesuai SNI 1729:2015 pasal D1.

$$\frac{L_k}{r} = \frac{500}{10,1} = 49,5 \leq 300 \text{ (Okay)}$$

- Kontrol profil
Kekuatan tarik desain dari komponen struktur, harus nilai terendah dari dua kondisi dibawah yang sesuai SNI 1729:2015 pasal D2, yaitu:

Kondisi leleh:

$$\begin{aligned}\phi.P_n &= \phi \times F_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 250 \times 21870 \\ &= 4920750 \text{ N}\end{aligned}$$

Kondisi fraktur:

$$\phi.P_n = \phi \times F_u \times A_e$$

Dimana:

A_e = luas netto yang dihitung sesuai pasal D3.

$$U = 1 - \frac{X}{L} = 1 - \frac{2,2}{40} = 0,95$$

$$A_e = A_n \times U = 218,7 \times 0,95 = 206,7 \text{ cm}^2$$

Maka:

$$\begin{aligned}\phi.P_n &= 0,75 \times 410 \times 206,7 \\ &= 6355148,6 \text{ N}\end{aligned}$$

Jadi, nilai yang menentukan adalah 4920750 N.

Cek kekuatan penampang tarik:

$$P_u \leq \phi \cdot P_n$$

$$112065,1 \text{ kg} \leq 492075 \text{ kg (Okay)}$$

Kontrol kekuatan batang tekan:

- Kontrol kelangsingan
Untuk komponen struktur yang dirancang dalam tekan, rasio kelangsingan efektif $K.L/r$ sebaiknya tidak melebihi 200 sesuai SNI 1729:2015 pasal E2.
 $K = 1$ (factor panjang efektif sesuai lampiran 7.3)

$$\frac{K.L_k}{r} = \frac{1.500}{10,1} = 49,5 \leq 200 \text{ (Okay)}$$

- Kontrol profil
Kekuatan tekan desain harus ditentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur dan tekuk torsi profil yang mengacu pada SNI 1729:2015 pasal E3 dan E4, sebagai berikut: $P_n = F_{cr} \times A_g$

Tekuk lentur:

Pasal E3 digunakan untuk komponen struktur tekan dengan penampang nonlangsing yang mengacu pada SNI 1729:2015 tabel B4.1a. sebagai berikut:

$$\frac{b}{t} \leq 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{200}{21} \leq 0,56 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}}$$

$\rightarrow 9,524 < 15,84$ (penampang nonlangsing)

Nilai dari tegangan kritis " F_{cr} " ,ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{K.L}{r} \leq 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1.5000}{101} \leq 4,71 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}}$$

$49,5 \leq 132,2 \text{ (Okay)}$

Dan,

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(49,5)^2} = 805,4 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y \\ &= \left(0,658 \frac{250}{805,4}\right) \cdot 250 \\ &= 219,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Maka:

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 219,5 \times 21870 = 4801400,7 \text{ N}$$

Tekuk torsi:

Untuk komponen struktur simetris ganda, nilai F_e adalah:

$$F_e = \left\{ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right\} \cdot \frac{1}{I_x + I_y}$$

Dimana,

$$C_w = \frac{I_y \cdot h_o^2}{4} = \frac{22400 \cdot 31,4^2}{4} = 5521376 \text{ cm}^6$$

Jadi,

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right\} &= \left\{ \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 55 \cdot 10^5}{(1 \cdot 5000)^2} + 7,7 \cdot 10^4 \cdot 27 \cdot 10^5 \right\} \\ &= 644355840824,02 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{I_x + I_y} = \frac{1}{6,7 \cdot 10^8 + 2,24 \cdot 10^8} = 11,24 \cdot 10^{-11}$$

$$F_e = 644355840824,02 \times 11,24 \cdot 10^{-11} = 723,995 \text{ Mpa}$$

Dan nilai F_{cr} adalah:

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(0,658 \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \right) \cdot F_y \\ &= \left(0,658 \sqrt{\frac{250}{723,995}} \right) \cdot 250 \\ &= 216,4 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Maka:

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 216,4 \times 21870 = 4731742,3 \text{ N}$$

Sehingga didapatkan nilai P_n yang menentukan adalah 4731742,3 N.

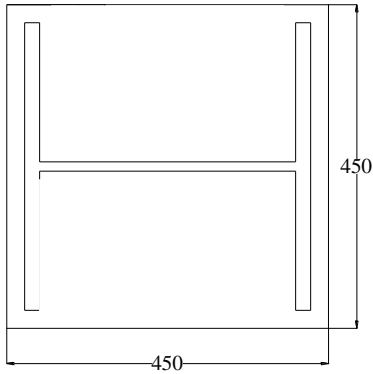
Cek kekuatan penampang tekan:

$$\begin{aligned} P_u &\leq \phi \cdot P_n \\ 112065,1 \text{ kg} &\leq 0,9 \times 473174,23 \text{ kg} \\ 112065,1 \text{ kg} &\leq 425856,81 \text{ kg} \quad (\text{Okay}) \end{aligned}$$

Desain sambungan *belt truss*:

Sambungan pada *belt truss* terdiri dari pelat landas dan baut mutu tinggi, dimana untuk plat landas akan disambungkan dengan profil *belt truss* melalui las sudut yang mengelilingi *flens* dan *web* profil yang berhubungan dengan muka pelat landas. Sedangkan sambungan baut digunakan untuk menyatukan antara profil baja dan beton.

- Pelat landas dan angkur
Data perencanaan pelat landas dapat dilihat pada gambar 7.31 ,sebagai berikut:



Gambar 7.35 Penampang pelat landas

$N = 450 \text{ mm}$ (panjang pelat landas)

$B = 450 \text{ mm}$ (lebar pelat landas)

$A_1 = A_2 = 450 \times 450 = 202500 \text{ mm}^2$

Tegangan tumpu beton:

$$q = \phi \times 0,85 \times f'_c \times B \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$\text{kontrol: } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \rightarrow 1 \leq 2 \text{ (Okay)}$$

Maka:

$$q = 0,65 \times 0,85 \times 41,5 \times 450 \times 1 = 10318 \text{ N/mm}$$

Gaya tarik pada angkur:

$$\begin{aligned} R_u &= (q \times Y) - P_u \\ &= (10318 \times 450) - 1142355,8 \text{ N} \\ &= 3500716,1 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan angkur: A490

$D = 27 \text{ mm}$

$n = 12 \text{ buah}$

$F_{nt} = 780 \text{ MPa}$ (kuat tarik)

$F_{nv} = 457 \text{ MPa}$ (kuat geser)

Kekuatan perlu 1 baut:

$$R_{ub} = \frac{R_u}{n} = \frac{3500716,1}{12} = 291726,34 \text{ N}$$

Kontrol gaya tarik angkur:

Gaya tarik angkur didesain sesuai SNI 1729:2015 pasal J3.6, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 0,75 \times 780 \times (0,25 \times \pi \times 27^2) \\ &= 334944,83 \text{ N}\end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}R_u &\leq \phi R_n \\ 291726,34 \text{ N} &\leq 334944,83 \text{ N} \text{ (Okay)}\end{aligned}$$

Tebal pelat landas:

$$t_p \geq 1,49 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{P_u}{B \cdot N \cdot f_y}}$$

$$t_p \geq 1,49 \cdot 200 \cdot \sqrt{\frac{1142355,76}{450 \cdot 450 \cdot 250}}$$

$$t_p \geq 44,76 \text{ mm} \rightarrow t_p = 50 \text{ mm}$$

Kontrol kekuatan pelat landas:

Pelat landas harus dapat menyalurkan beban dari belt truss ke struktur utama dengan mengacu pada SNI 1729:2015 pasal J8, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_p &= 0,85 \times f_c \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \\ &= 0,85 \times 41,5 \times 450 \times 202500 \times 1 \\ &= 7143187,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Dan tidak lebih dari,

$$P_p = 1,7 \times f_c \times A_1$$

$$= 1,7 \times 41,5 \times 202500$$

$$= 14286375 \text{ N}$$

Maka nilai P_p pakai adalah 7143187,5 N.

Cek:

$$P_u < \phi \cdot P_p$$

$$1142355,8 \text{ N} < 0,65 \times 7143187,5 \text{ N}$$

$$1142355,8 \text{ N} < 4643071,9 \text{ N} \quad (\text{Okay})$$

Desain angkur:

→ Jarak antar angkur

Spasi antar angkur direncanakan sesuai SNI 1729:2015 pasal J3.3 & 5(b), sebagai berikut:

$$3.d_b \leq S \leq 14.t_p \leq 180 \text{ mm}$$

$$3.27 \leq S \leq 14.50 \leq 180 \text{ mm}$$

$$81 \leq S \leq 180 \text{ mm}$$

Jadi spasi pakai adalah 90 mm.

→ Jarak angkur ke tepi

Jarak angkur ke tepi direncanakan sesuai SNI 1729:2015 pasal J3.4 & J3.5, sebagai berikut:

$$22 \leq S_1 \leq 12.t_p \leq 150 \text{ mm}$$

$$3.27 \leq S_1 \leq 12.50 \leq 150 \text{ mm}$$

$$81 \leq S_1 \leq 150 \text{ mm}$$

Jadi jarak angkur ke tepi pakai adalah 60 mm.

- Sambungan las

Sambungan las ini direncanakan menggunakan sambungan las sudut, dimana data perencanaannya adalah sebagai berikut:

Direncanakan:

$$t_p = 50 \text{ mm}$$

$$a_{\min.} = 8 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2015 tabel J2.4})$$

$$a_{\max} = 50 - 2 = 48 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2015 pasal J2.2.2b.(b)})$$

$$a_{\text{pakai}} = 10 \text{ mm} \quad (\text{direncanakan})$$

$$t_e = \frac{a.b}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{10.10}{\sqrt{10^2 + 10^2}} = 7,071 \text{ mm}$$

$$F_{uw} = 60 \text{ ksi} = 421,8 \text{ MPa (Mutu bahan las)}$$

Kontrol kuat las:

Kekuatan las rencana harus didesain kurang dari kekuatan runtuh geser pelat sebagai berikut:

→ Terhadap bahan las

$$\begin{aligned} R_{nw} &= t_e \times (0,6 \times F_{uw}) \\ &= 7,071 \times (0,6 \times 421,8) \\ &= 1790 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

→ Terhadap pelat landas

$$\begin{aligned} R_n &= t \times (0,6 \times F_u) \\ &= 50 \times (0,6 \times 410) \\ &= 12300 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Cek:

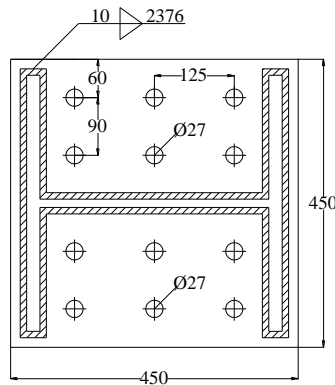
$$\phi.R_{nw} \leq \phi.R_n$$

$$0,75.1790 \leq 0,75.12300$$

$$1342 \text{ N/mm} \leq 9225 \text{ N/mm (Okay)}$$

Sket hasil desain sambungan belt truss:

Dari hasil desain sambungan *belt truss* diatas, didapat sket seperti pada gambar 7.32 berikut ini:



Gambar 7.36 Sket desain sambungan *belt truss*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VIII PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya didapatkan kesimpulan sesuai tujuan penulisan tugas akhir ini yaitu penulis dapat merencanakan modifikasi gedung Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya dengan menggunakan kombinasi *shear wall* dan *outrigger system* dengan gambar teknis pada lampiran dan hasil analisis sebagai berikut.

1. Dari hasil analisis beban gempa, struktur gedung termasuk ke dalam kategori desain seismik E dengan demikian dilakukan pendekatan pada konfigurasi sistem ganda yang diterapkan adalah SRPMK dan SDSK, karena untuk sistem outrigger sendiri belum ada syarat yang mengikat untuk desain sistem strukturnya, oleh sebab itu dilakukan pendekatan pada sistem ganda dimana nilai R yang digunakan adalah 7 untuk factor pengali pembesaran gaya gempanya.
2. Dari program analisis struktur didapatkan kontrol partisipasi massa memenuhi syarat yaitu pada mode 117 sebesar 99,9% ,kontrol waktu getar alami (T) sebesar 2,466 detik ,kontrol nilai akhir respon spektrum $V_{dinamik}$ arah X dan Y sebesar 1645,39 T dan 1645,221 T ,kontrol pengaruh P-Delta yang menunjukkan hasil bahwa pengaruh P-Delta pada kedua arah struktur dapat diabaikan karena nilai stabilitas maksimal struktur baik arah X maupun arah Y menunjukkan hasil kurang dari 0,1 ,dan yang terakhir memenuhi kontrol *drift* (simpangan) dengan selisih antara simpangan ijin dan simpangan yang terjadi pada tingkat yang kritis mencapai 3,35 mm dimana hasil tersebut merupakan nilai yang terbesar diantara beberapa model yang sudah dilakukan.

3. Setelah dilakukan analisa seperti hasil diatas maka didapatkan disain dari tiap-tiap elemen struktur adalah sebagai berikut:

- Pelat lantai (S1):
 Tebal pelat = 120 mm
 Lebar = 2500 mm
 Panjang = 4000 mm
 Tul. susut = Ø8 – 300
 Tul. lentur = D12 – 150
- Pelat tangga :
 Tebal pelat = 150 mm
 Lebar = 1200 mm
 Panjang = 2100 mm
 Tul. susut = Ø8 – 300
 Tul. lentur = D16 – 75
- Pelat bordes :
 Tebal pelat = 150 mm
 Lebar = 1950 mm
 Panjang = 2600 mm
 Tul. susut = Ø8 – 300
 Tul. lentur = D16 – 75
 Konsol = D16 (merata sepanjang (2/3).d)
- Balok anak (BA):
 Dimensi balok : B = 200 mm
 H = 300 mm
 L. balok = 4000 mm

Tulangan pakai:

| Ket. | Tumpuan | | Lapangan | |
|--------|---------|-------|----------|-------|
| | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| Lentur | 3 D13 | 2 D13 | 2 D13 | 2 D13 |
| Torsi | - | | | |
| Geser | Ø8-120 | | Ø8-240 | |

- Balok lift:
 Dimensi balok: B = 300 mm
 H = 400 mm
 L. balok = 3000 mm
 Tulangan pakai:

| Ket. | Tumpuan | | Lapangan | |
|--------|---------|-------|----------|-------|
| | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| Lentur | 5 D16 | 3 D16 | 3 D16 | 3 D16 |
| Torsi | - | | | |
| Geser | D13-160 | | D13-300 | |

- Balok induk (B1-5):
 Dimensi balok: B = 300 mm
 H = 400 mm
 L. balok = 3500 mm
 Tulangan pakai:

| Ket. | Tumpuan | | Lapangan | |
|--------|---------|-------|----------|-------|
| | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| Lentur | 6 D19 | 4 D19 | 4 D19 | 4 D19 |
| Torsi | 2 D13 | | | |
| Geser | D13-80 | | D13-130 | |

- Kolom (K1):
 Dimensi kolom: B = 750 mm
 H = 750 mm
 L. kolom = 4000 mm
 Tulangan pakai:

| Ket. | Tumpuan | | Lapangan | |
|--------|-----------|-------|-----------|-------|
| | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| Lentur | 28 D19 | | | |
| Geser | 4 D13-100 | | 4 D13-110 | |

- *Shearwall (SW):*

Tebal *shearwall* (h) = 350 mm
 Tinggi *shearwall* (h_w) = 4000 mm
 Panjang *shearwall* (l_y) = 3000 mm
 (l_x) = 8000 mm

Tulangan pakai:

| Ket. | Lentur | Geser |
|--------|-----------------|-----------------|
| Arah X | 2 lapis D22-300 | 2 lapis D22-400 |
| Arah Y | 2 lapis D22-200 | 2 lapis D22-200 |

- Balok *Outrigger*:

Bentang balok (L) : 8500 mm
 Bentang bersih balok (L_n) : 8000 mm
 Dimensi balok (b) : 300 mm
 (h) : 3000 mm

Tulangan pakai:

Lentur: Atas = 15 D19
 Bawah = 15 D19
 Geser: *Horizontal* = 2 lapis D13-200
Vertikal = 2 lapis D13-200

- *Belt truss*:

Profil = WF 400x400x13x21
 Bentang profil = 5000 mm
 Sambungan: Angkur = 12 Ø27
 Las = Las sudut (a = 10 mm)

8.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan, maka disarankan :

1. Untuk menghasilkan dimensi struktur primer yang efisien dan memenuhi syarat-syarat yang ditentukan, maka perlu dilakukan analisis secara bertahap dengan menggunakan dimensi minimum yang ditentukan sampai memperoleh dimensi yang tepat. Dalam hal ini perlu dikontrol diantaranya kontrol partisipasi massa, pengaruh P-Delta, kontrol $V_d \geq 0,85 V_{s,m}$, dan kontrol drift bangunan.

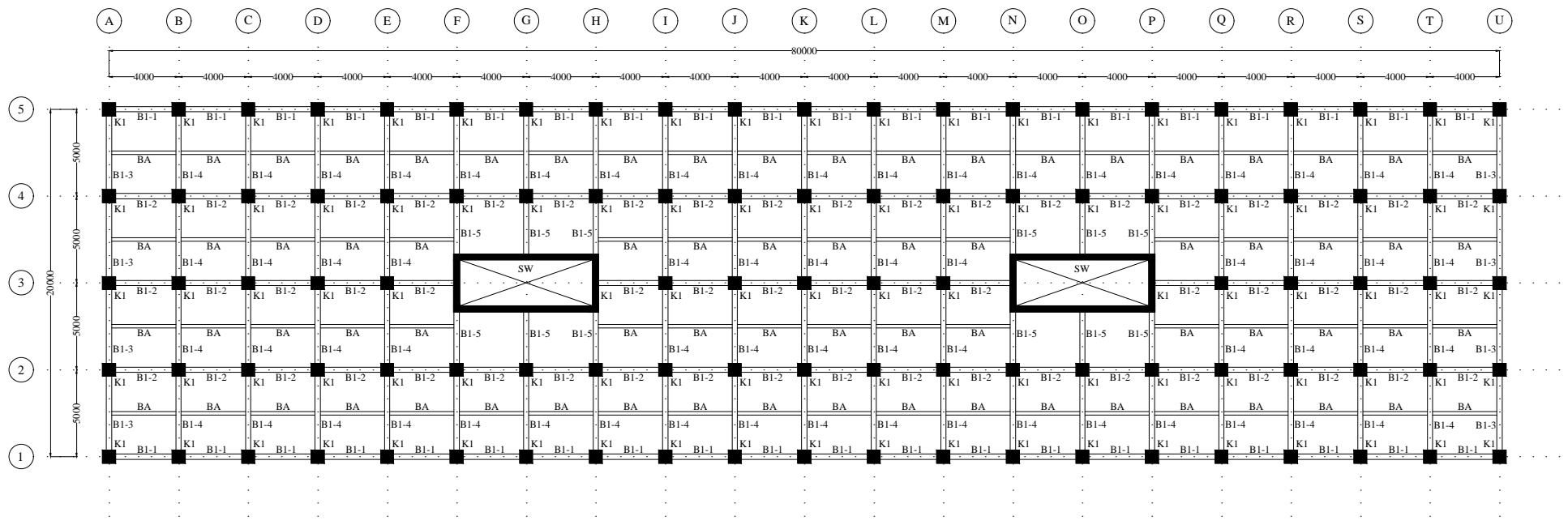
2. Untuk disain balok *outrigger* sendiri perlu dilakukan peninjaun terhadap jumlah dan estimasi letaknya karena jumlah dan penempatan *outrigger* sangat berpengaruh terhadap penambahan kekakuan pada bangunan yang berdampak pada simpangan yang terjadi. Maka dari itu kebutuhan dan letak dari *outrigger* pada tiap bangunan berbeda-beda.


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, (2013), *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktural Lain. (SNI 1727-2013)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, (2015), *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja. (SNI 1729-2015)*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1983), *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPUIG)*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987), *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPUIG)*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Departemen Pekerjaan Umum, (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan gedung. (SNI 2847-2002)*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2012), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. (SNI 1726-2012)*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2013), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan gedung. (SNI 2847-2013)*, Jakarta.
- Gunawan, R dan Morisco. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisins 1988. 68 hal.
- Hi Sun Choi, Gorman Ho, Leonard Joseph & Neville Mathias. (2012). *Outrigger Design for High-Rise Buildings*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2012.
- M. R. Jahanshahi, R. Rahgozar, M. Malekinejad. 2012. *A Simple Approach to Static Analysis of Tall Buildings with a Combined Tube-intube and Outrigger-belt Truss System Subjected to Lateral Loading*. Internasional Journal of Engineering Vol. 25, No. 3, (July 2012) 289-299.
- Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon. 2007. *Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*.

- 2007 University of Sydney, Architectural Science Review Volume 50.3, pp 205-223.
- N. Herath, N. Haritos, T. Ngo & P. Mendis. 2009. *Behaviour of Outrigger Beams in High rise Buildings under Earthquake Loads*. Australian Earthquake Engineering Society 2009 Conference.
- Nawy, E. G., Tavio, dan Kusuma, B. 2010. "*Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 1*". Surabaya: ITSPress. 974 hal.
- Nawy, E. G., Tavio, dan Kusuma, B. 2010. "*Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 2*". Surabaya: ITSPress. 974 hal.
- Tavio dan Kusuma, B. 2009. *Desain Sistem Rangka Pemikul Momen Dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya : ITS Press. 141 hal.
- P.M.B. Raj Kiran Nanduri, B.Suresh, MD. Ihtesham Hussain. 2013. *Optimum Position of Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings*. American Journal of Engineering Research (AJER) Volume-02, Issue-08, pp-76-89.
- Radu Hulea, Bianca Parv, Monica Nicoreac and Bogdan Petrina. 2014. *Optimum Design of Outrigger and Belt Truss Systems Using Genetic Algorithm*. Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN 1934-7359, USA, pp. 709-715.
- Taranath, B. S. (2012). *Structural Analysis and Design of Tall Building – Steel and Composite Construction*. Taylor & Francis Group, LLC, 2012. 711 hal.



 Denah Balok - Kolom Lt.1-5
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B1-1 | 30/40 |
| B1-2 | 30/40 |
| B1-3 | 30/40 |
| B1-4 | 30/40 |
| B1-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K1 | 75/75 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 1 - 5

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

1

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

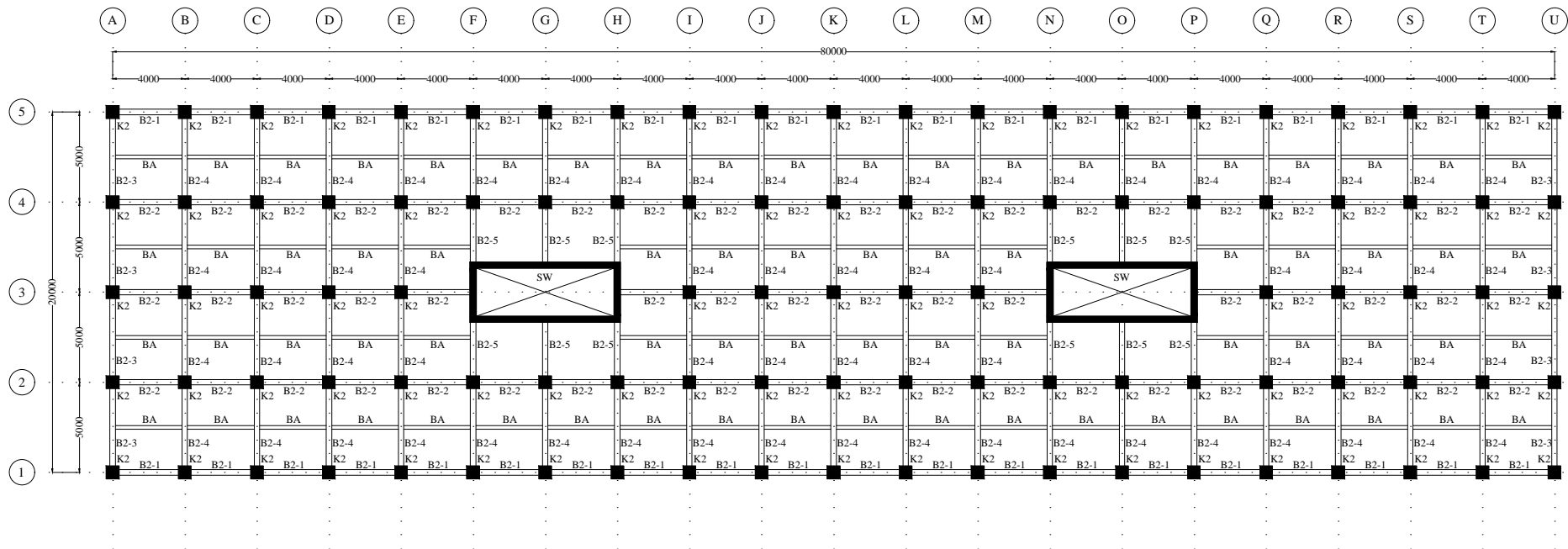
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Denah Balok - Kolom Lt.6-10
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B2-1 | 30/40 |
| B2-2 | 30/40 |
| B2-3 | 30/40 |
| B2-4 | 30/40 |
| B2-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K2 | 70/70 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 6 - 10

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

2

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

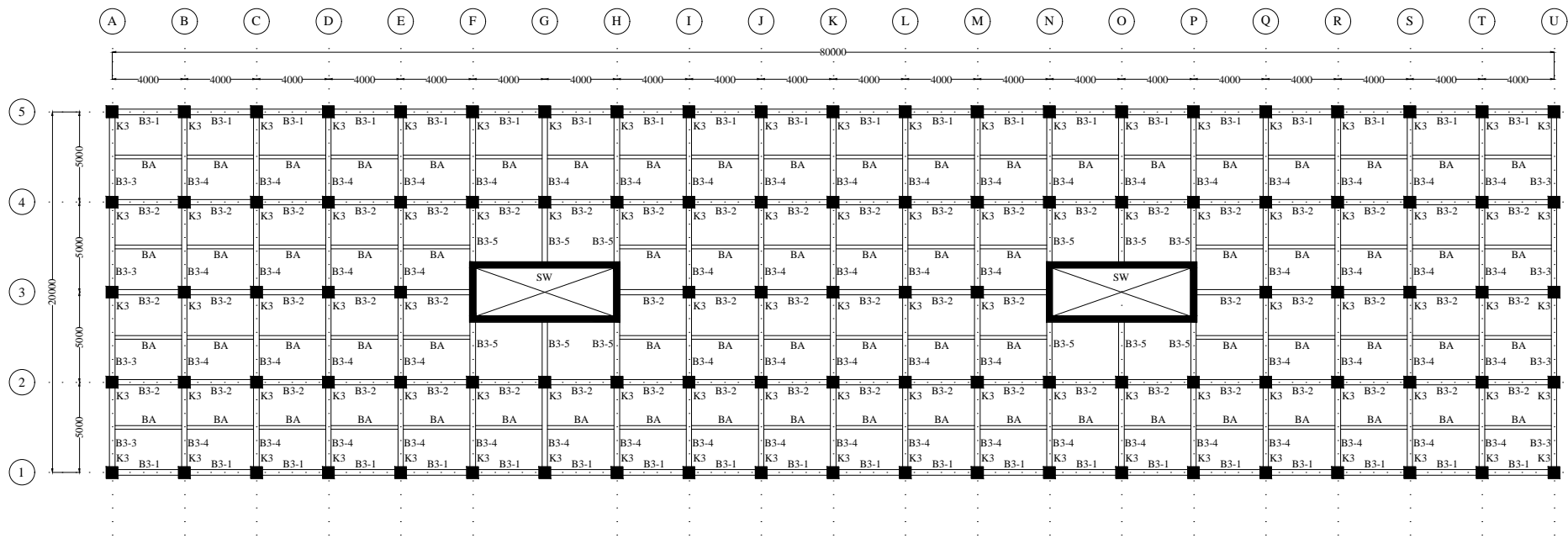
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Denah Balok - Kolom Lt.11-15
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B3-1 | 30/40 |
| B3-2 | 30/40 |
| B3-3 | 30/40 |
| B3-4 | 30/40 |
| B3-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K3 | 65/65 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 11 - 15

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

3

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

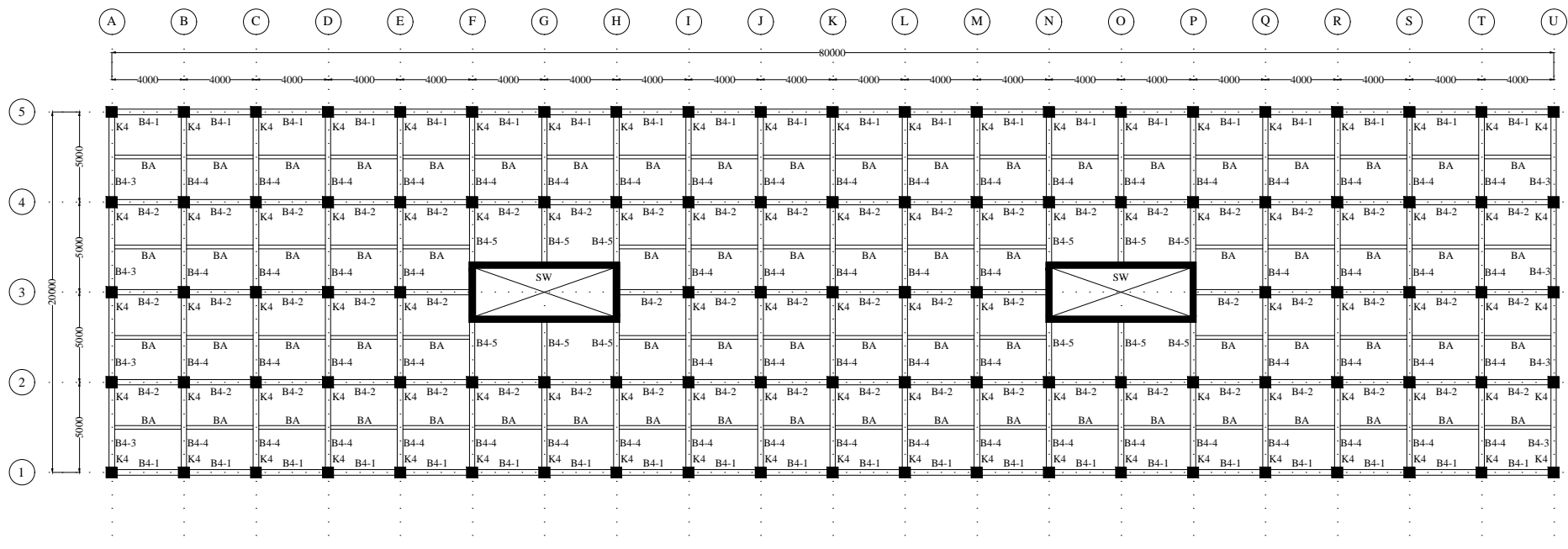
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.


DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



 Denah Balok - Kolom Lt.16-20
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B4-1 | 30/40 |
| B4-2 | 30/40 |
| B4-3 | 30/40 |
| B4-4 | 30/40 |
| B4-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K4 | 60/60 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 16 - 20

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

4

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

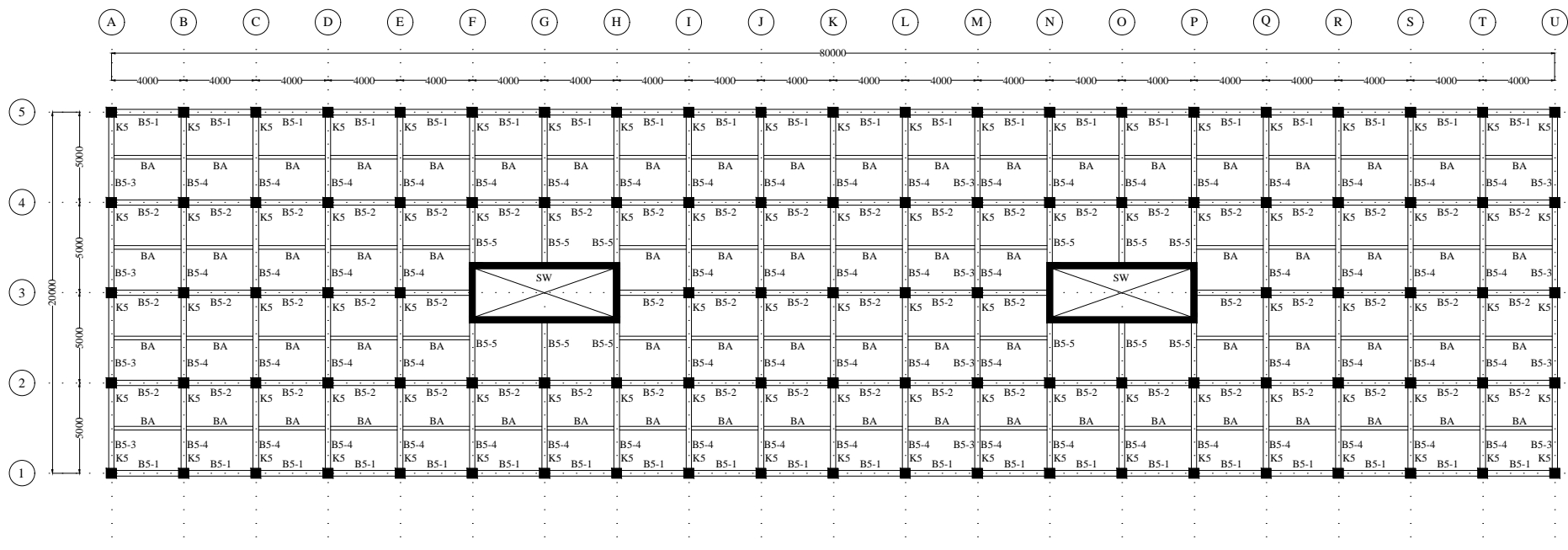
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.


DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



 **Denah Balok - Kolom Lt.21-25**
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B5-1 | 30/40 |
| B5-2 | 30/40 |
| B5-3 | 30/40 |
| B5-4 | 30/40 |
| B5-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K5 | 55/55 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 21 - 25

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

5

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

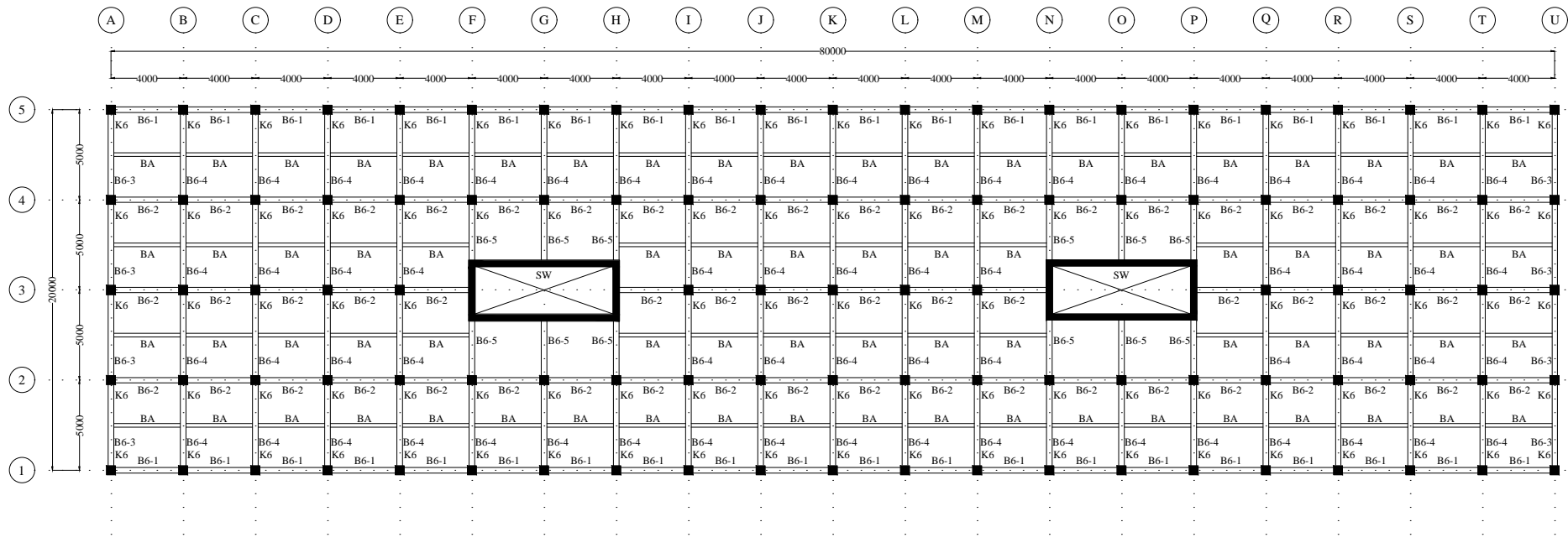
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Denah Balok - Kolom Lt.26-30
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B6-1 | 30/40 |
| B6-2 | 30/40 |
| B6-3 | 30/40 |
| B6-4 | 30/40 |
| B6-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K6 | 50/50 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 26 - 30

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

6

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

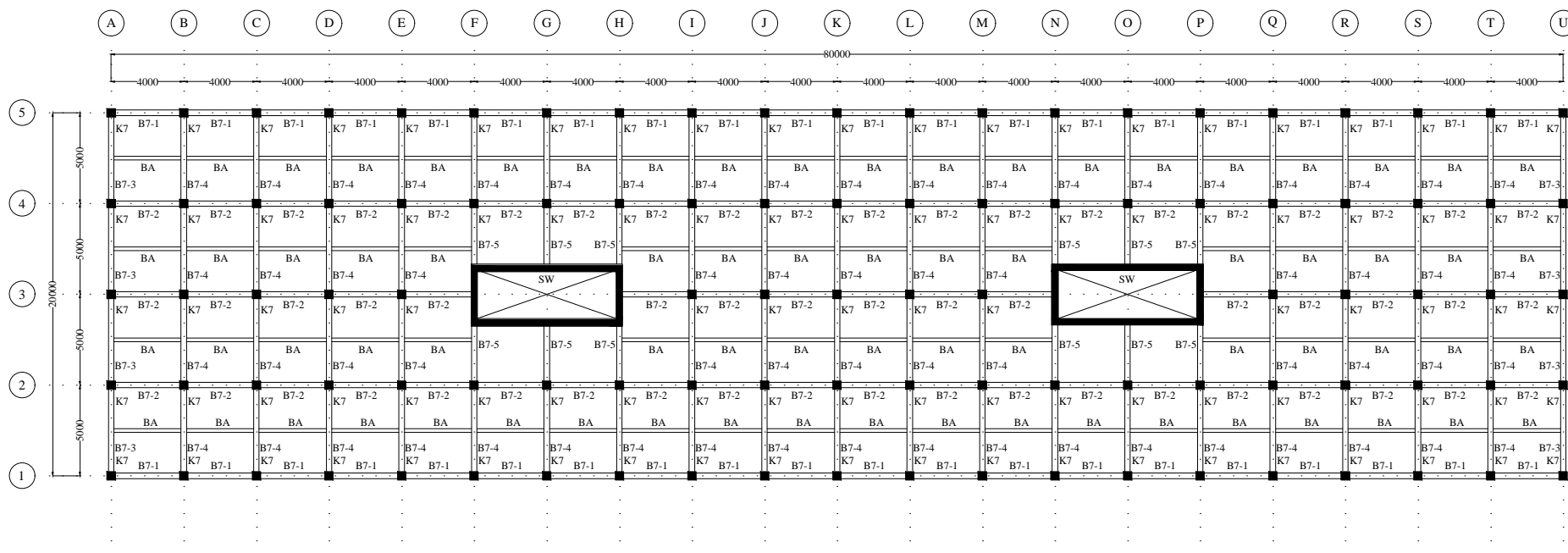
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Denah Balok - Kolom Lt.31-35
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B7-1 | 30/40 |
| B7-2 | 30/40 |
| B7-3 | 30/40 |
| B7-4 | 30/40 |
| B7-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K7 | 45/45 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 31 - 35

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

7

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

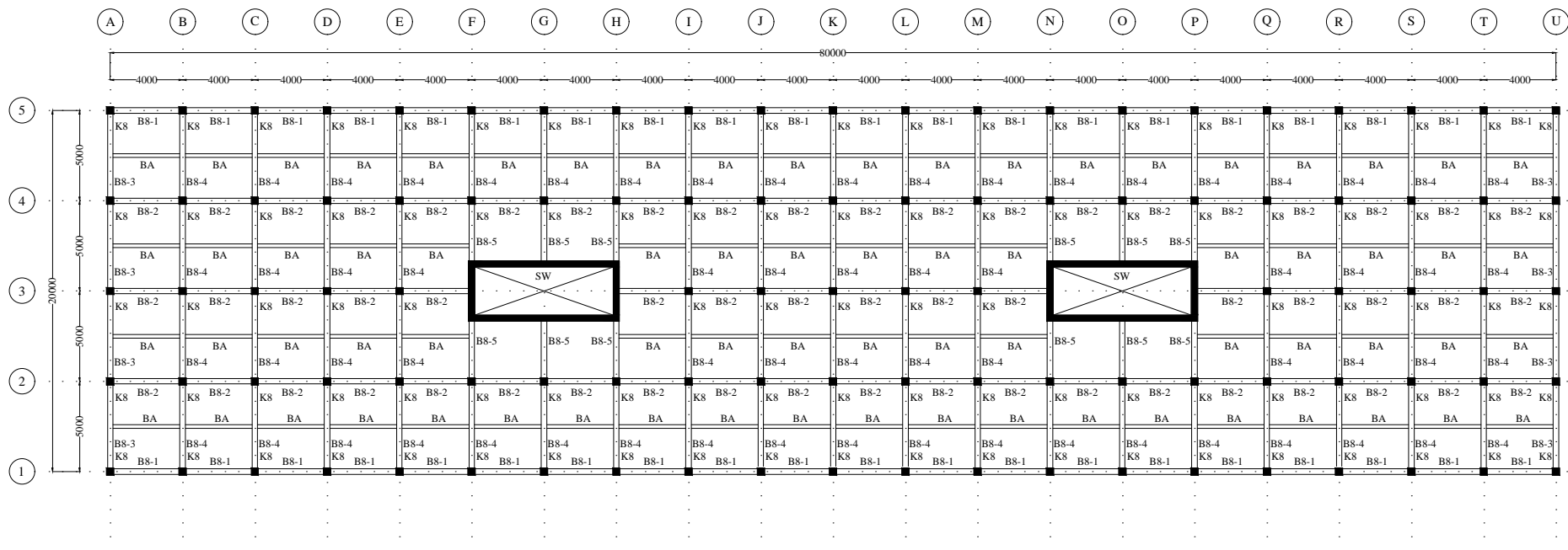
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.


DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



 Denah Balok - Kolom Lt.36-39
Skala 1 : 350

| Tipe | Dimensi |
|------|---------|
| B8-1 | 30/40 |
| B8-2 | 30/40 |
| B8-3 | 30/40 |
| B8-4 | 30/40 |
| B8-5 | 30/40 |
| BA | 20/30 |
| K8 | 40/40 |



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Balok - kolom
Lt. 36 - 39

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

8

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

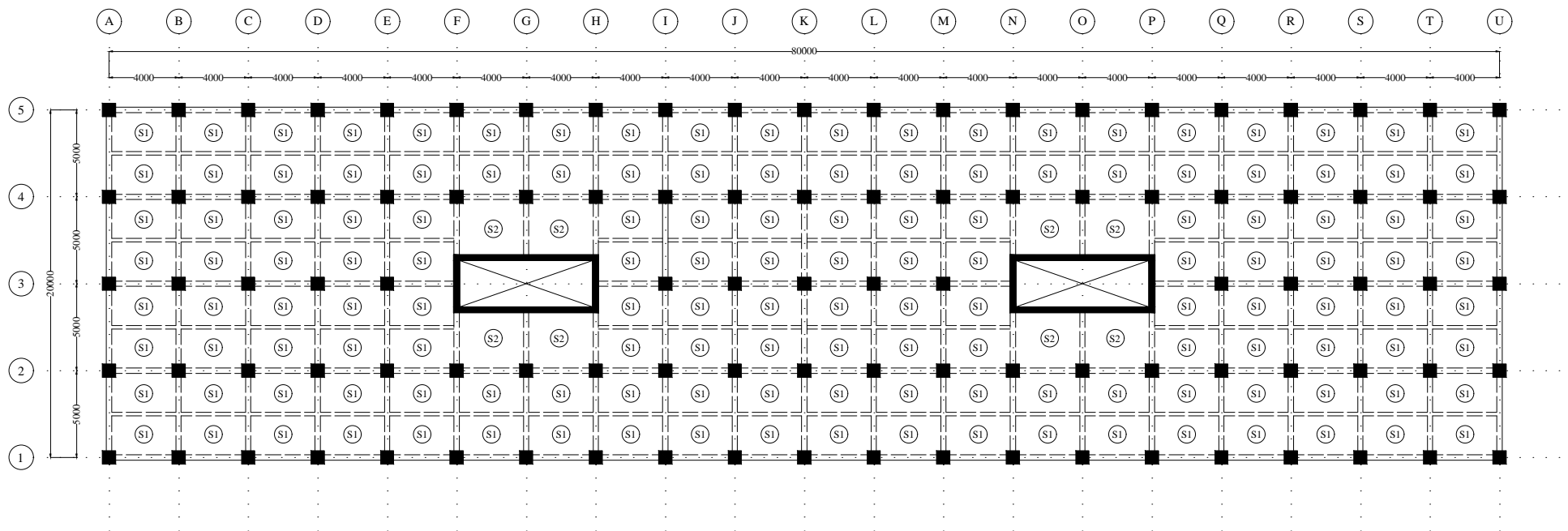
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Denah Pelat Lt.1-39 (Tipikal)
Skala 1 : 350



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Pelat
Lt. 1 - 39 (Tipikal)

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

9

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

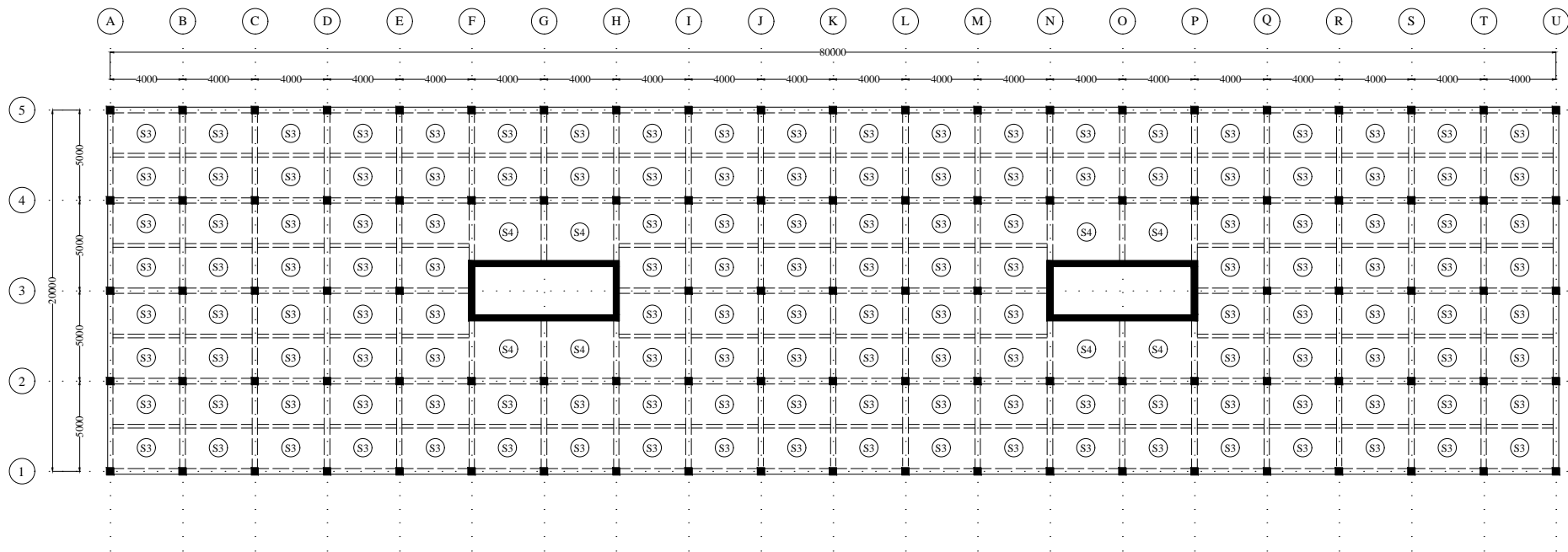
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Denah Pelat Atap Lt.40
Skala 1 : 350



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Denah Pelat Atap
Lt. 40

SKALA

1 : 350

NO. LEMBAR

10

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

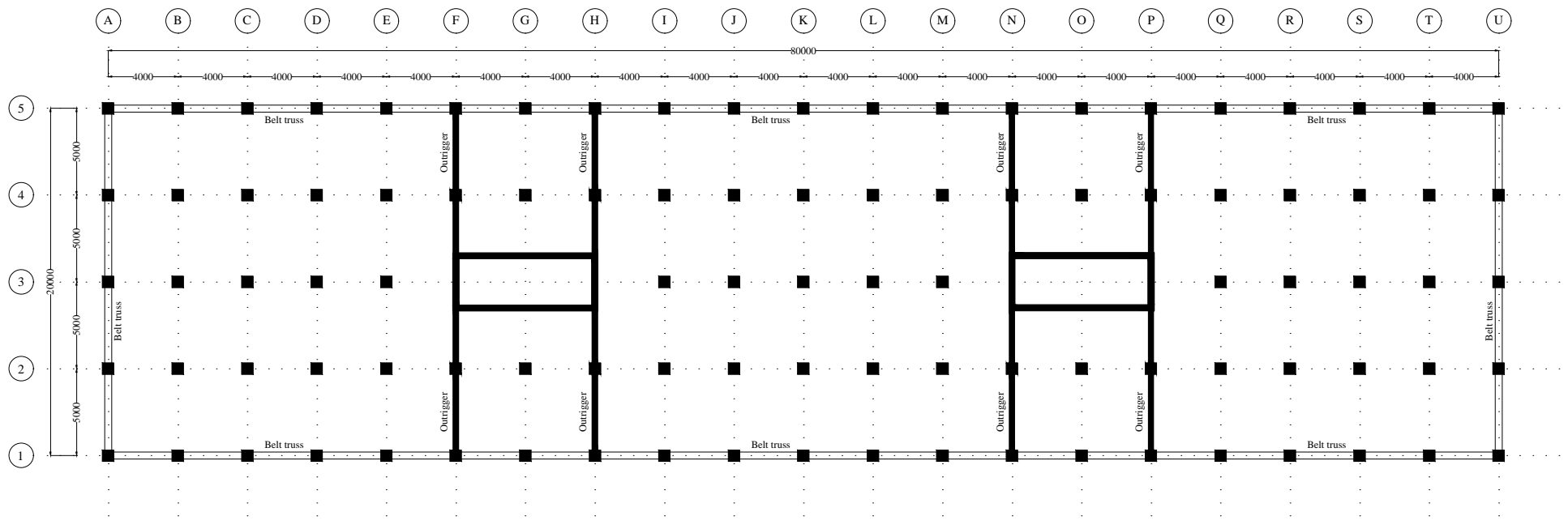
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.


DOSEN II

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



 Denah *Outrigger dan Belt Truss* Lt.13
Skala 1 : 350

| Tipe | Profil |
|------------|------------------|
| Belt truss | WF 400x400x13x21 |



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Denah *Outrigger dan Belt truss*
Lt. 13

1 : 350

11

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

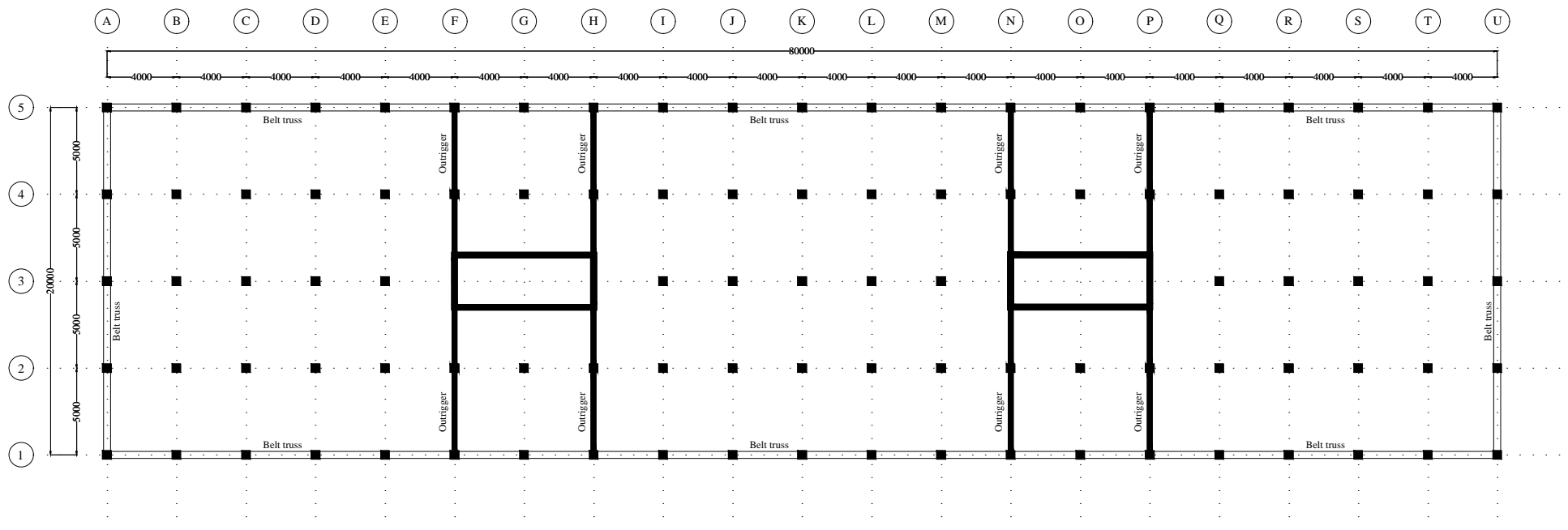
JMLH LEMBAR


DOSEN II

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



 Denah *Outrigger* dan *Belt Truss* Lt.26
Skala 1 : 350

| Tipe | Profil |
|------------|------------------|
| Belt truss | WF 400x400x13x21 |



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Denah *Outrigger* dan *Belt truss*
Lt. 26

1 : 350

12

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

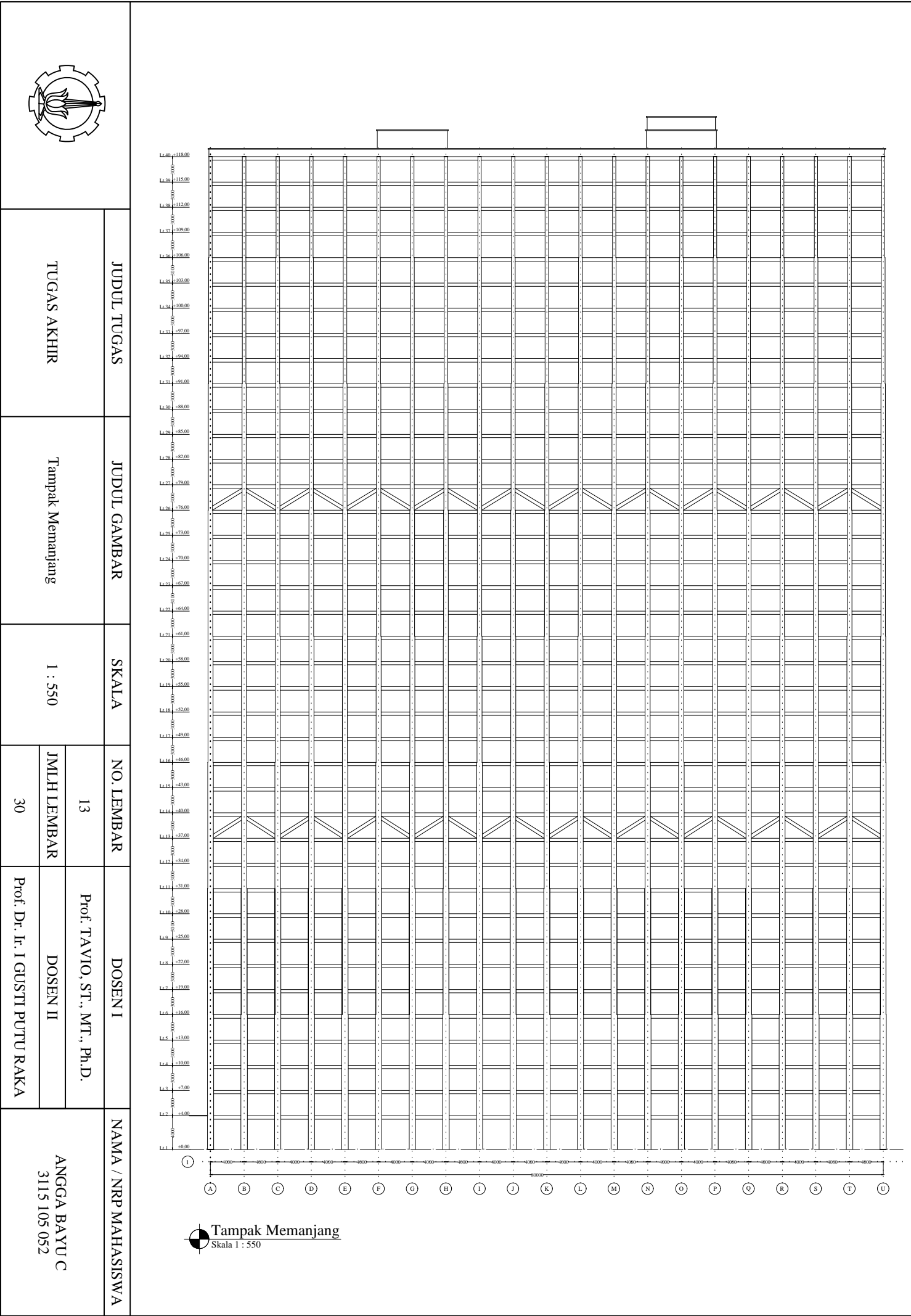
JMLH LEMBAR

DOSEN II

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

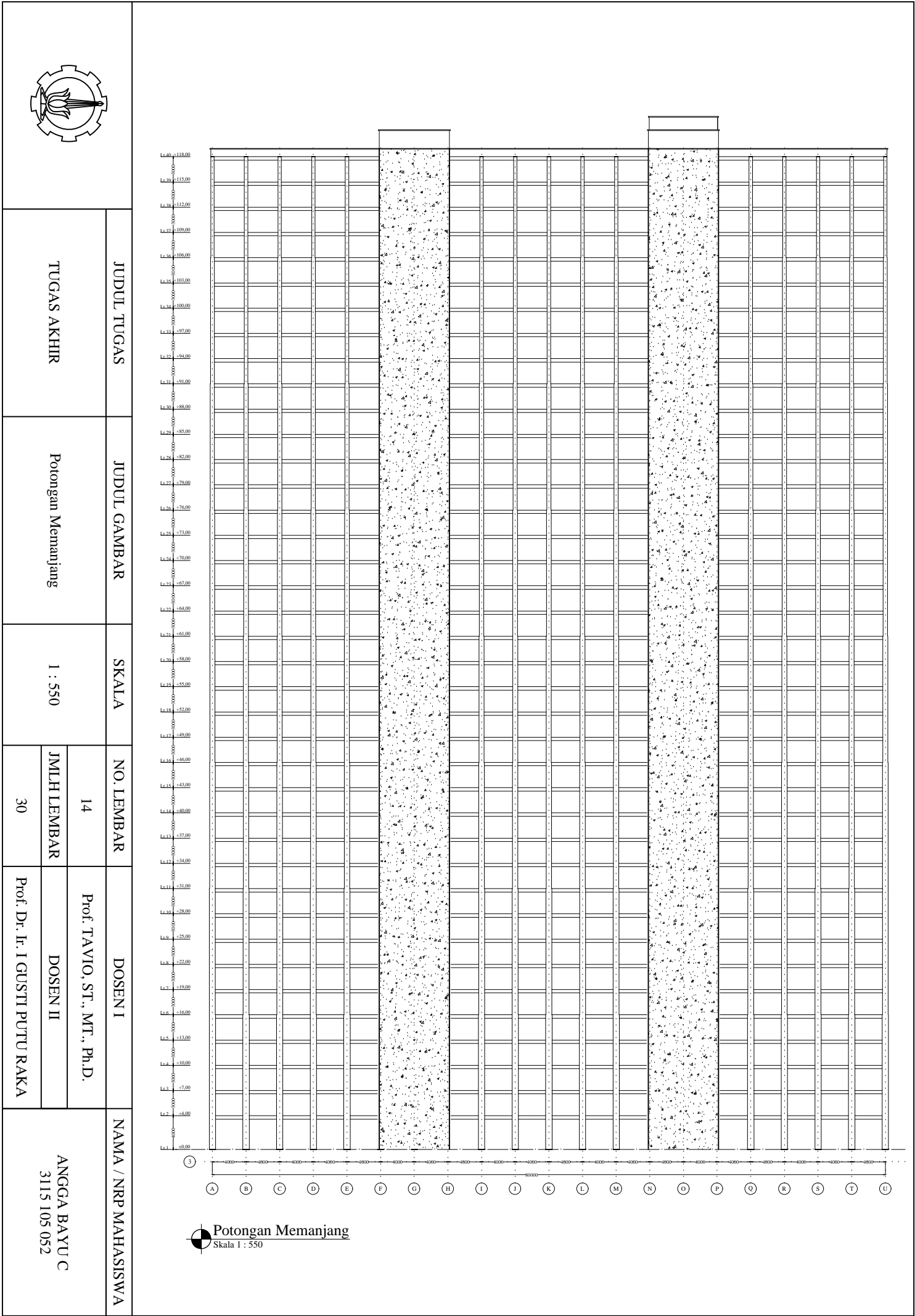
ANGGA BAYU C
3115 105 052




ANGGA BAYU C
3115 105 052

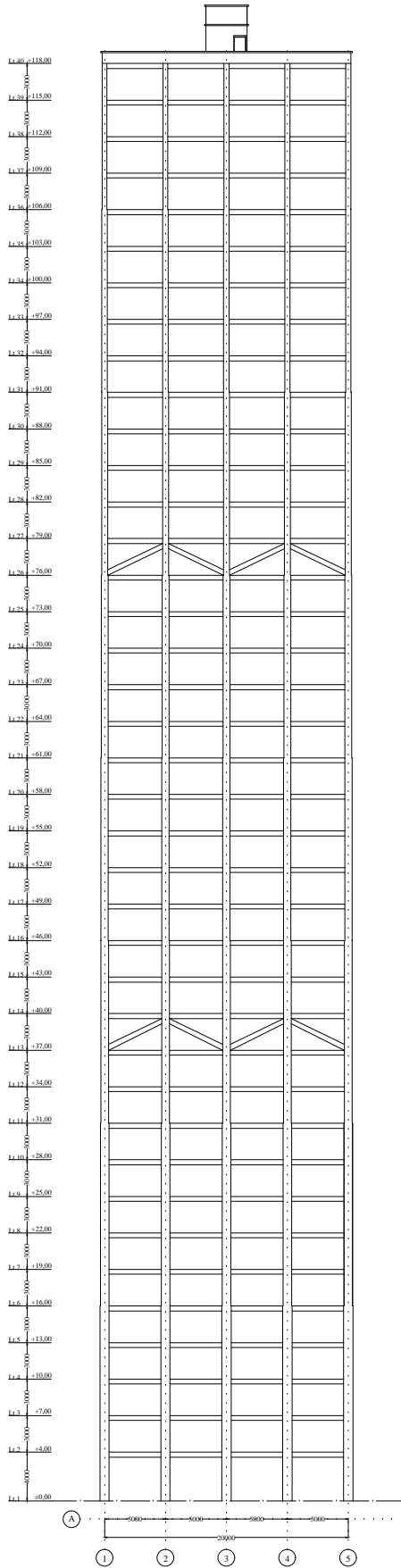
NAMA / NRP MAHASISWA



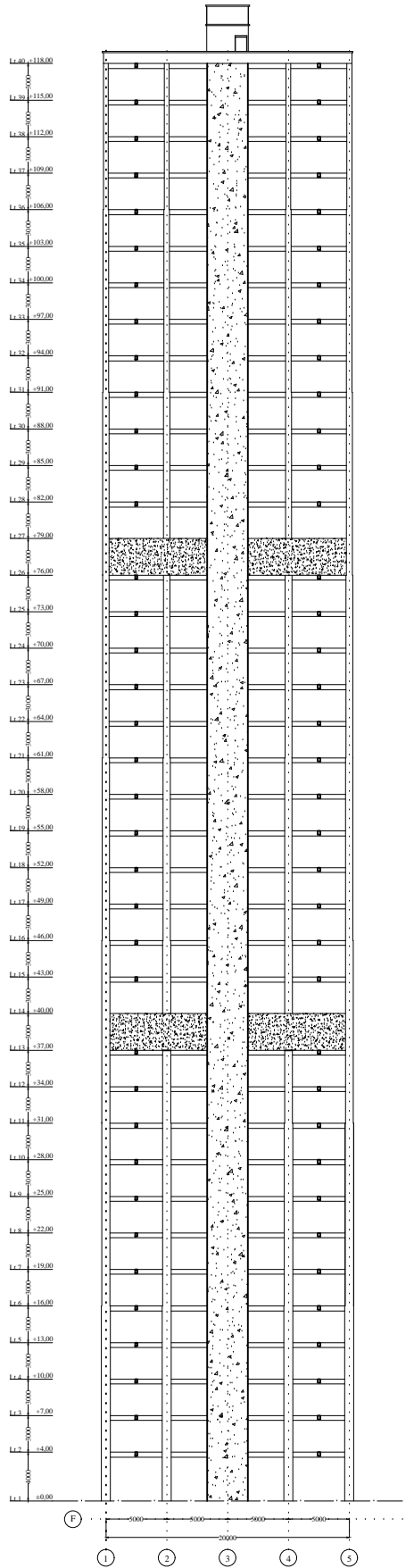




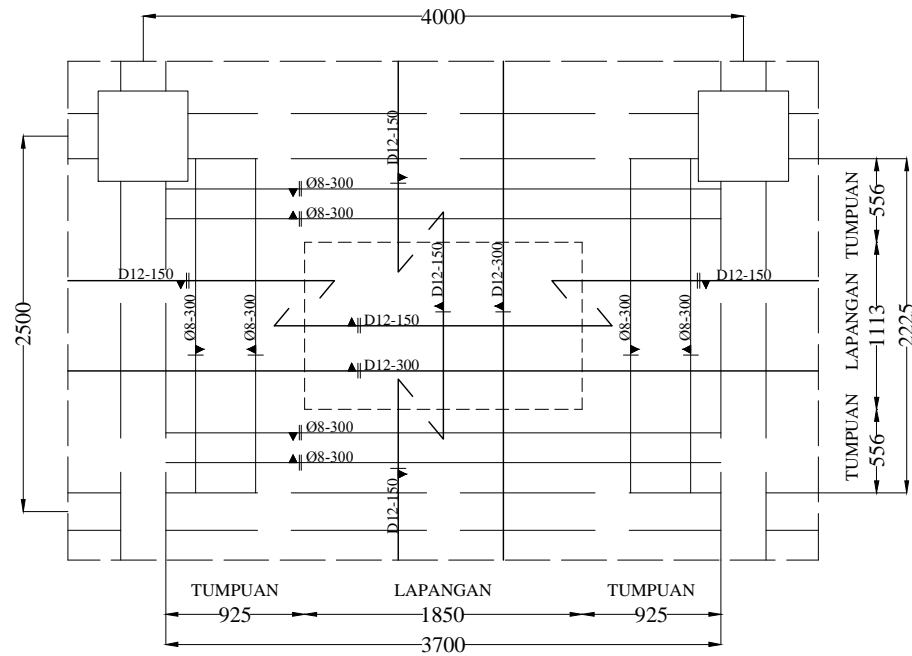
| | | | | | | |
|--|-------------|---|---------|-------------|---------------------------------|----------------------|
|  | JUDUL TUGAS | JUDUL GAMBAR | SKALA | NO. LEMBAR | DOSEN I | NAMA / NRP MAHASISWA |
| | TUGAS AKHIR | Tampak Melintang & Potongan Melintang | 1 : 550 | 15 | Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D. | |
| | | | | JMLH LEMBAR | DOSEN II | |
| | | | | 30 | Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA | |
| ANGGA BAYU C 3115 105 052 | | | | | | |




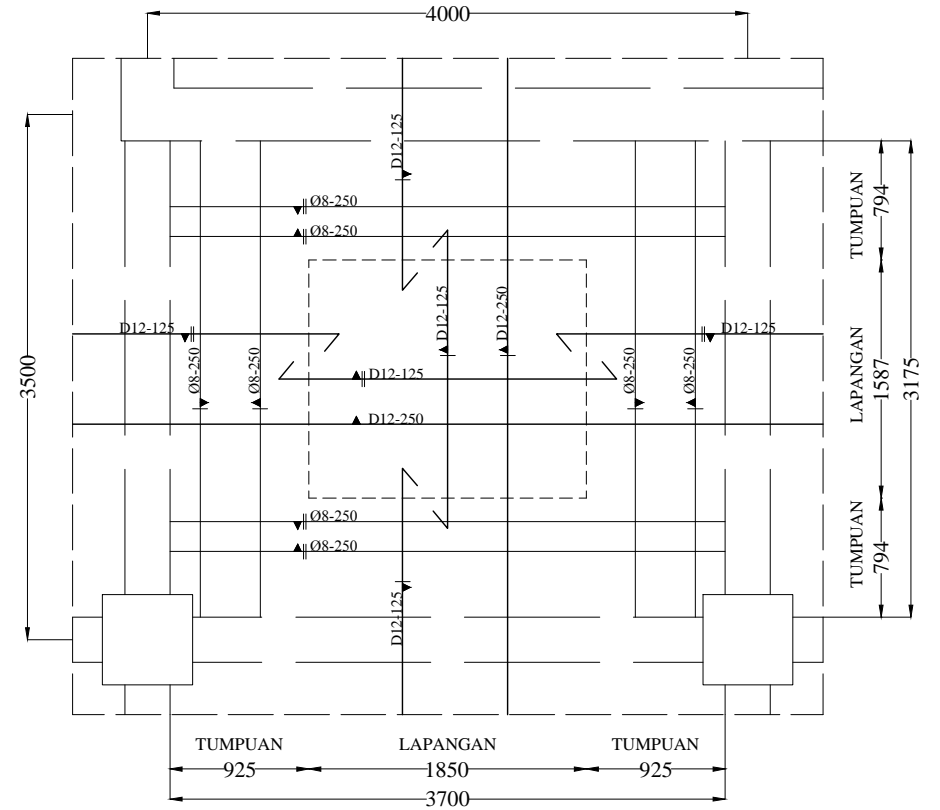
Tampak Melintang
Skala 1 : 550




Potongan Melintang
Skala 1 : 550



 Detail Tulangan Pelat Tipe S1
Skala 1 : 50



 Detail Tulangan Pelat Tipe S2
Skala 1 : 50



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Detail Tulangan Pelat Tipe
S1& S2

SKALA

1 : 50

NO. LEMBAR

16

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

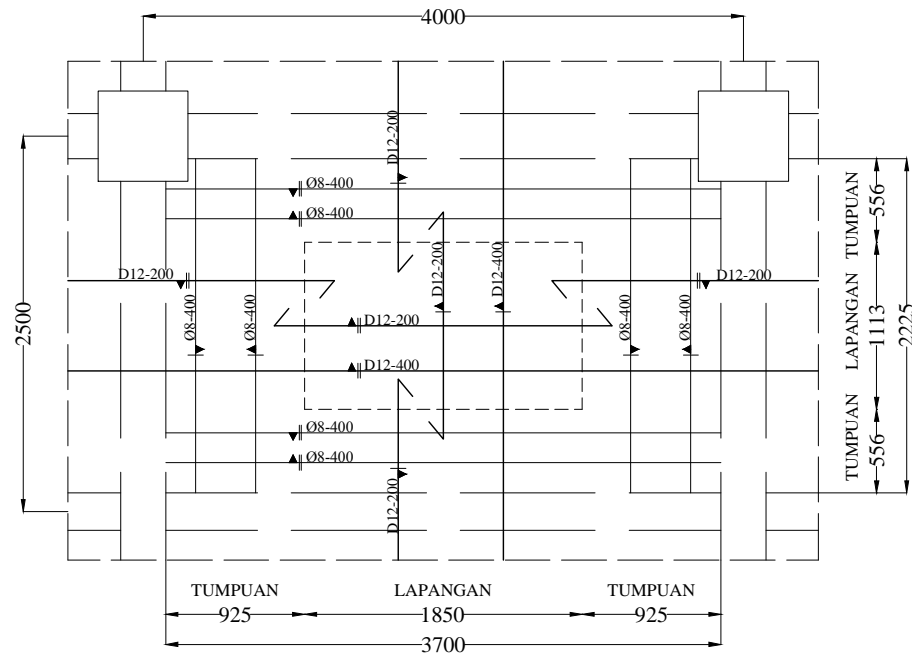
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

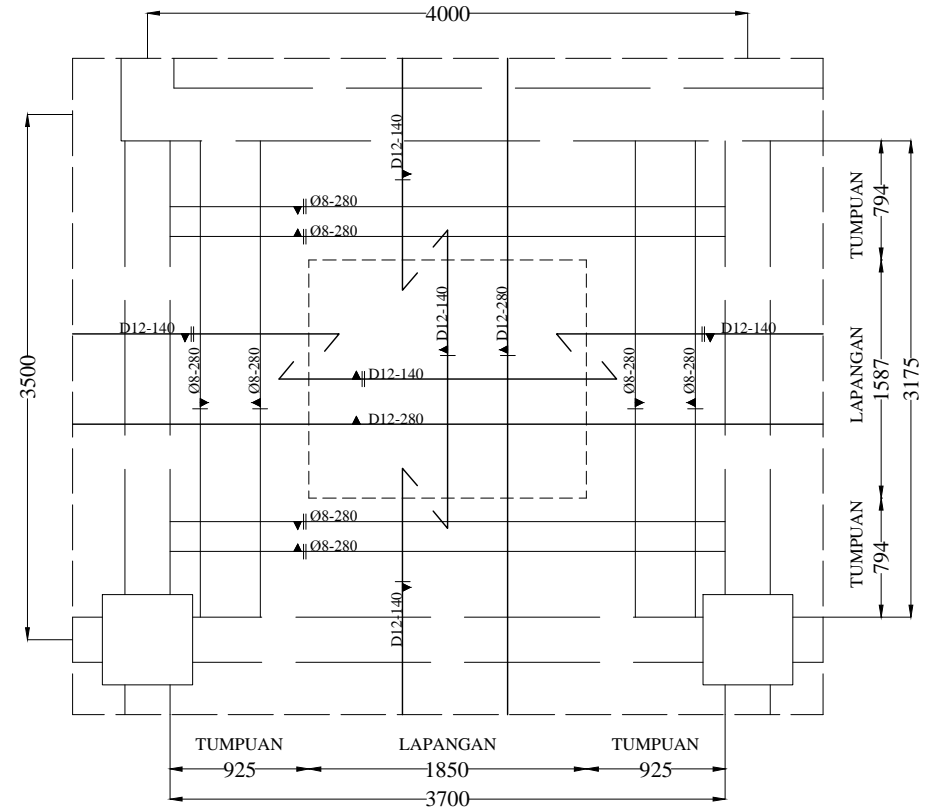
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Detail Tulangan Pelat Tipe S3
Skala 1 : 50



Detail Tulangan Pelat Tipe S4
Skala 1 : 50



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Pelat Tipe
S3& S4

1 : 50

17

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

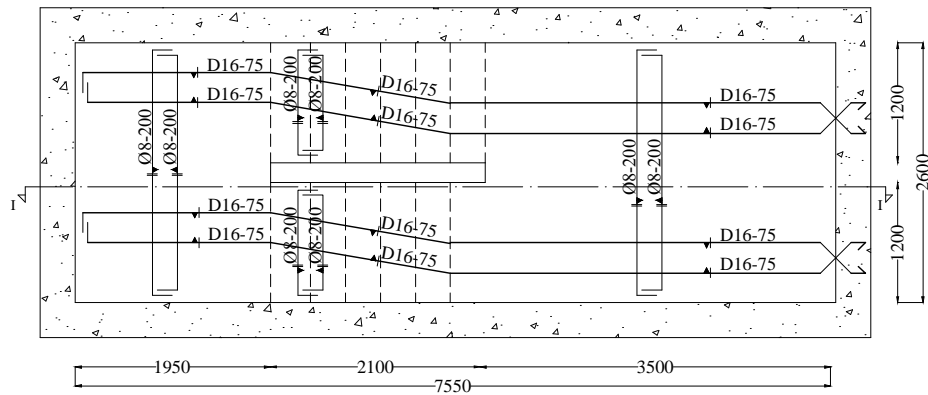
JMLH LEMBAR

DOSEN II

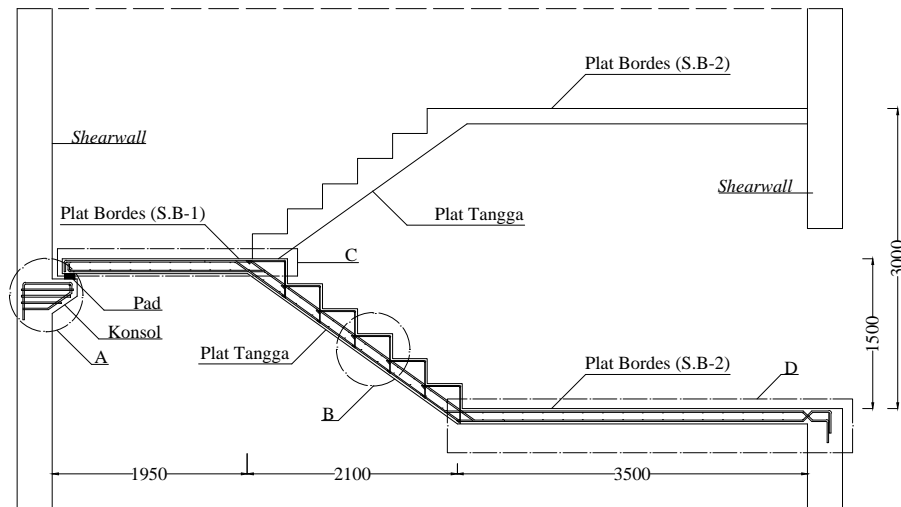
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

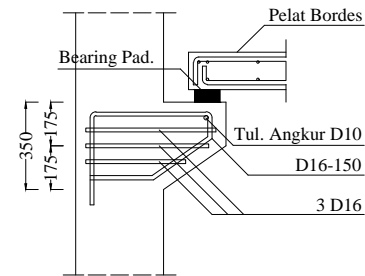
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



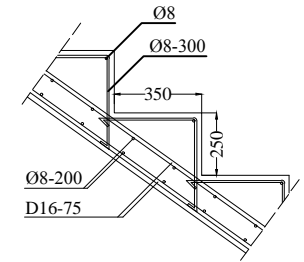
Detail Tulangan Tangga
Skala 1 : 75



Potongan I-I
Skala 1 : 75



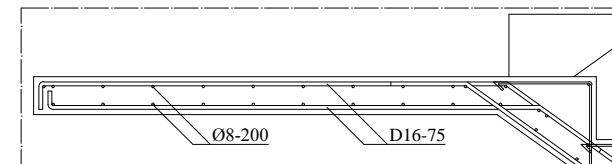
Potongan A
Skala 1 : 25



Potongan B
Skala 1 : 25



Potongan D (S.B-2)
Skala 1 : 25



Potongan C (S.B-1)
Skala 1 : 25



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Detail Penulangan Tangga

SKALA

1 : 75
&
1 : 25

NO. LEMBAR

18

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

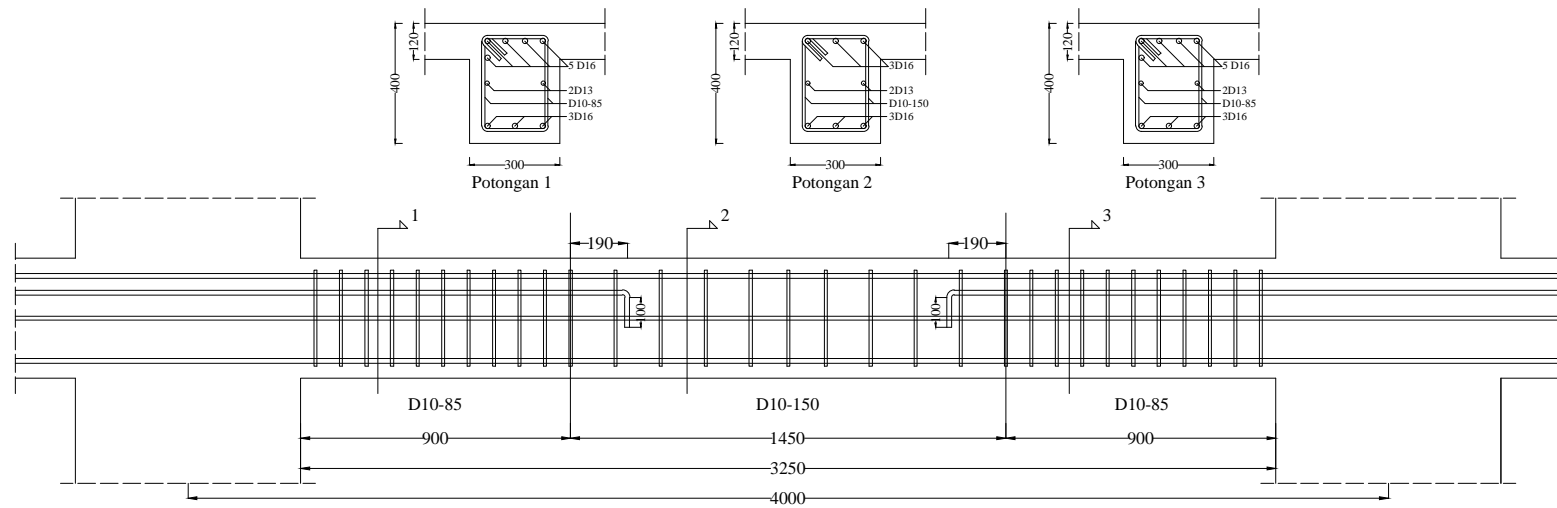
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

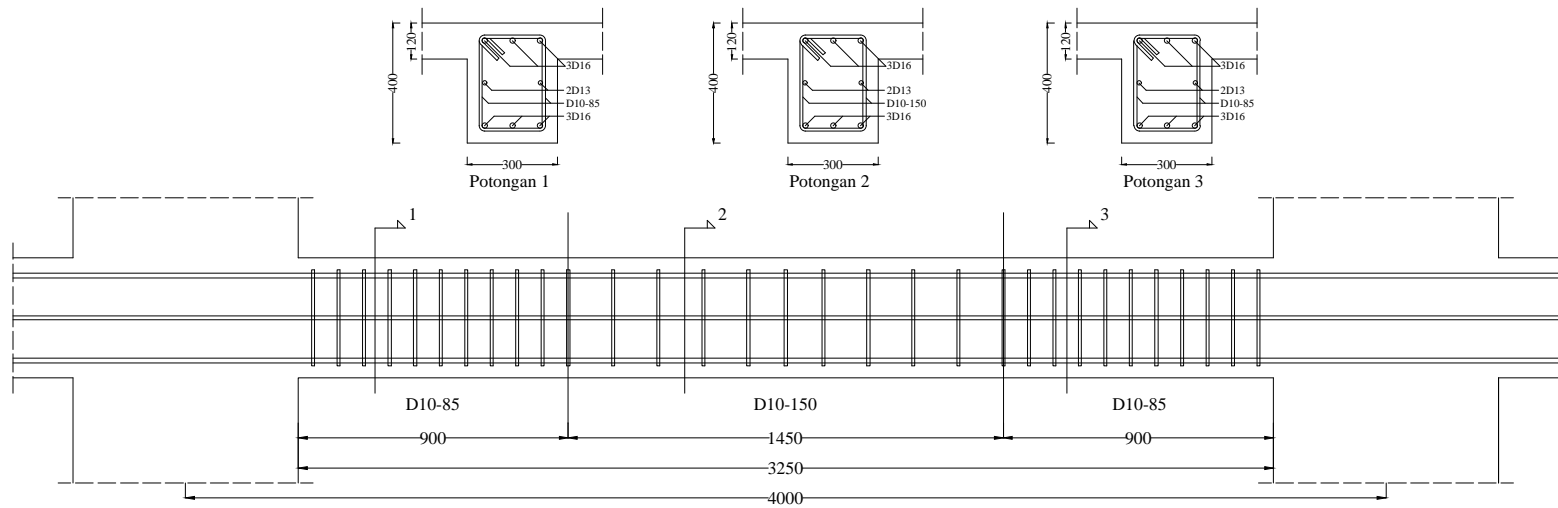
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Detail Tulangan Balok Tipe B1-2 As. 3,B-C
Skala 1 : 25



Detail Tulangan Balok Tipe B1-1 As. A,1-2
Skala 1 : 25



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Balok Tipe
B1-1 & B1-2

1 : 25

19

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

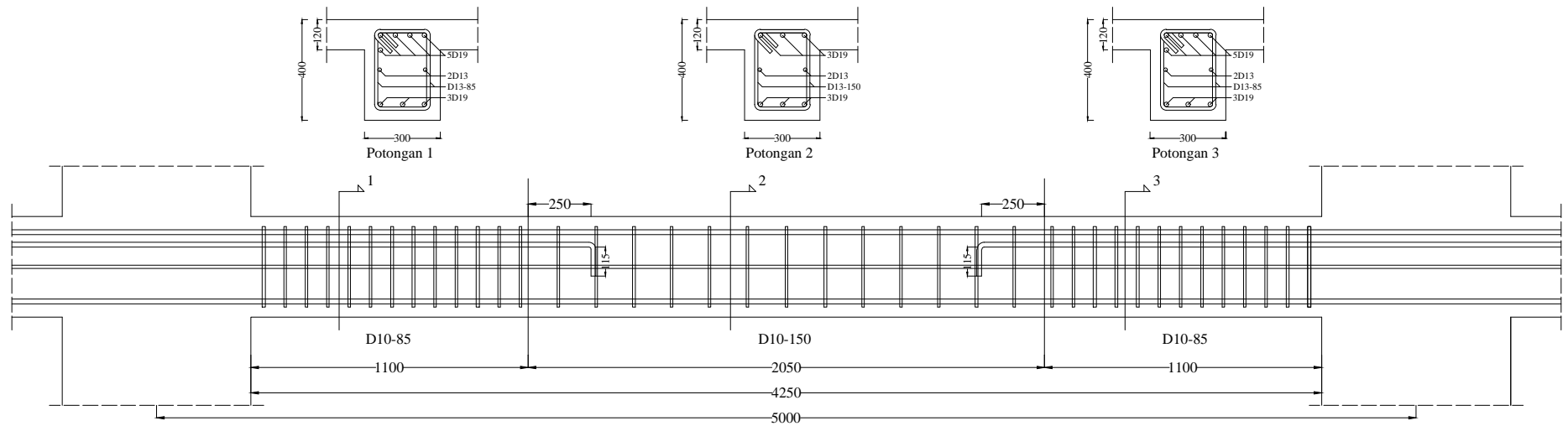
JMLH LEMBAR

DOSEN II

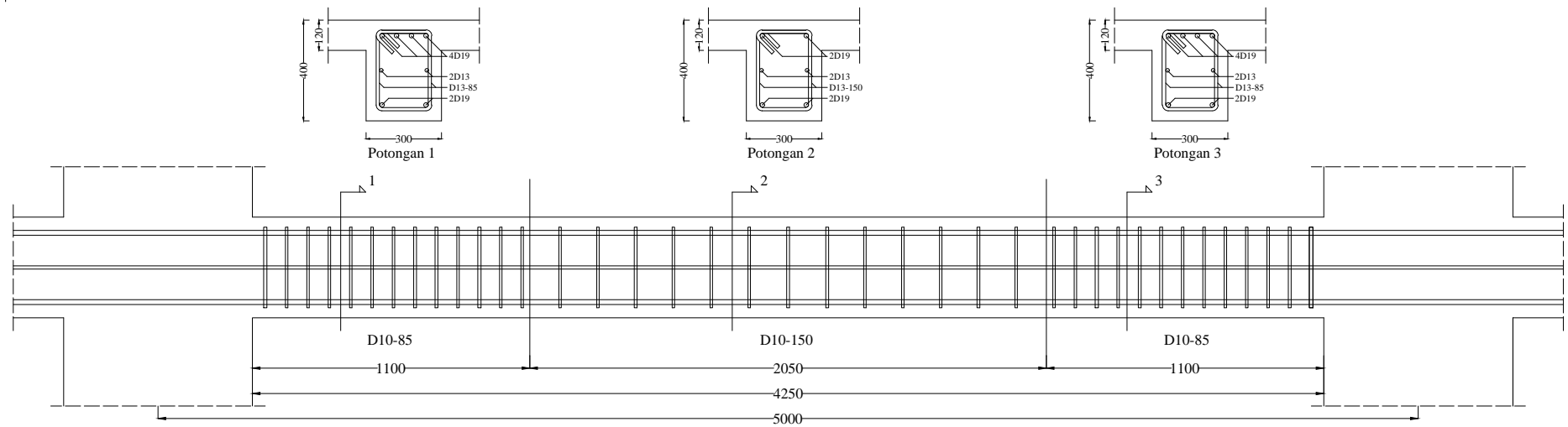
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



Detail Tulangan Balok Tipe B1-4 As. C,2-3
Skala 1 : 25



Detail Tulangan Balok Tipe B1-3 As. 1,A-B
Skala 1 : 25



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Balok Tipe
B1-3 & B1-4

1 : 25

20

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

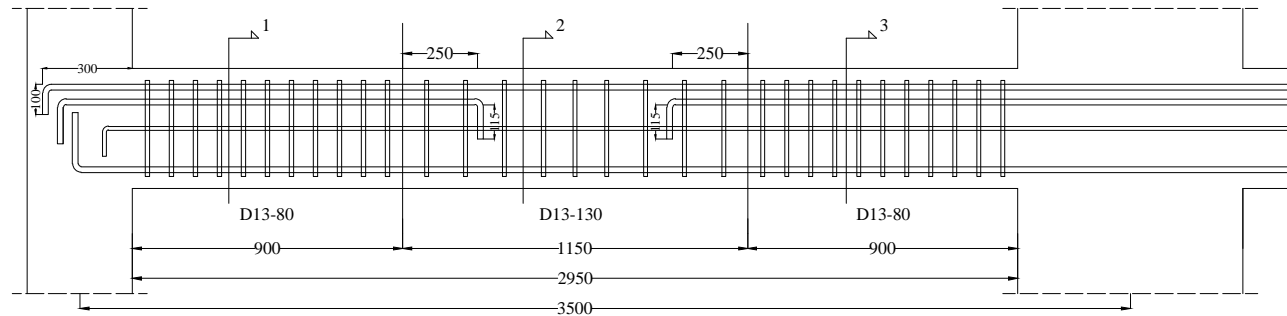
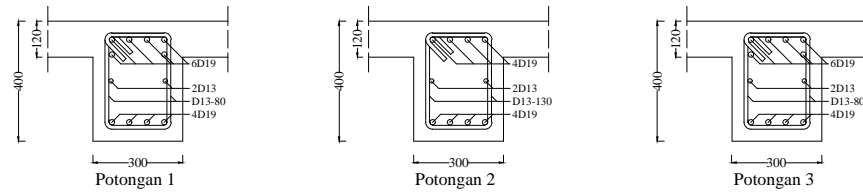
ANGGA BAYU C
3115 105 052

JMLH LEMBAR

DOSEN II

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



 **Detail Tulangan Balok Tipe B1-5**
Skala 1 : 25



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Detail Tulangan Balok Tipe
B1-5

SKALA

1 : 25

NO. LEMBAR

21

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

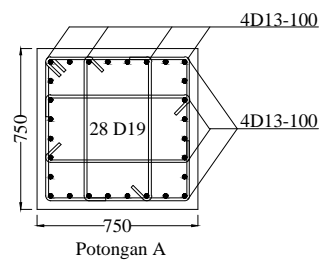
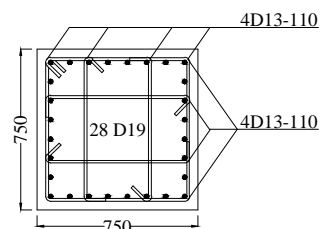
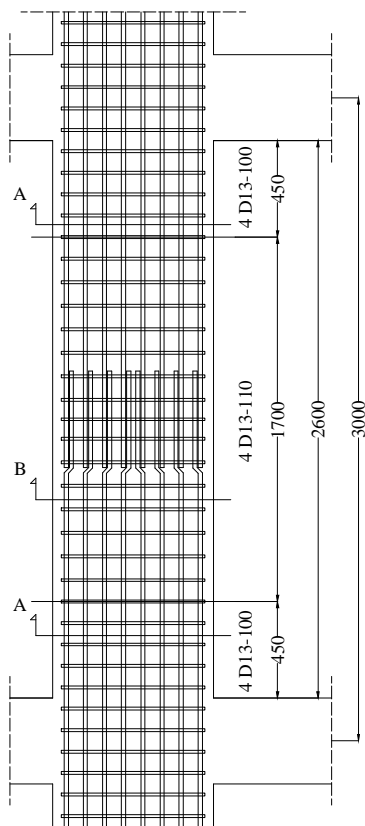
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

DOSEN II

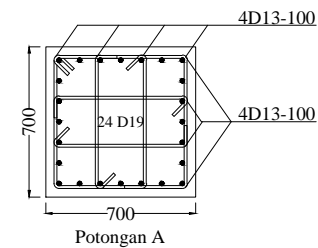
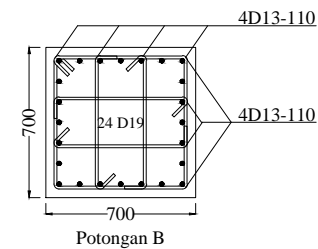
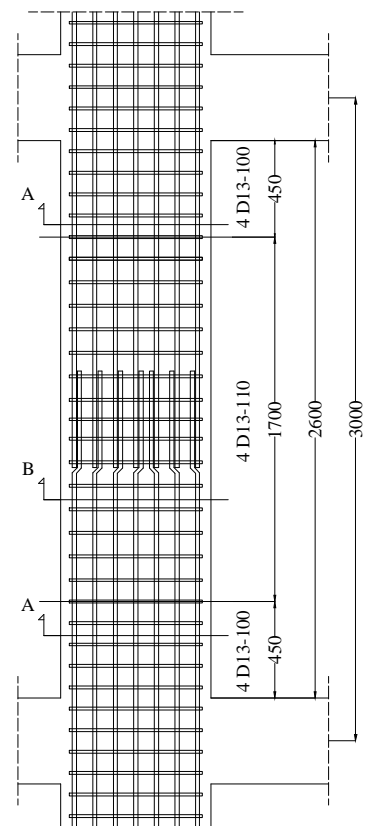
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



Detail Tulangan Kolom Tipe K1 As. 4,F Lt.2
Skala 1 : 35



Detail Tulangan Kolom Tipe K2 As. 4,F Lt.7
Skala 1 : 35



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Kolom Tipe
K1 & K2

1 : 35

22

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

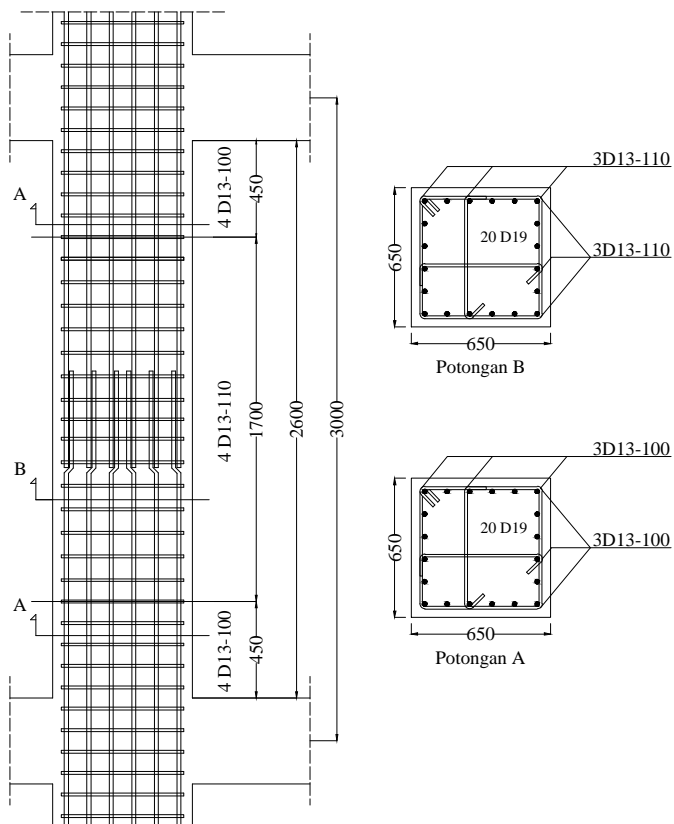
JMLH LEMBAR

DOSEN II

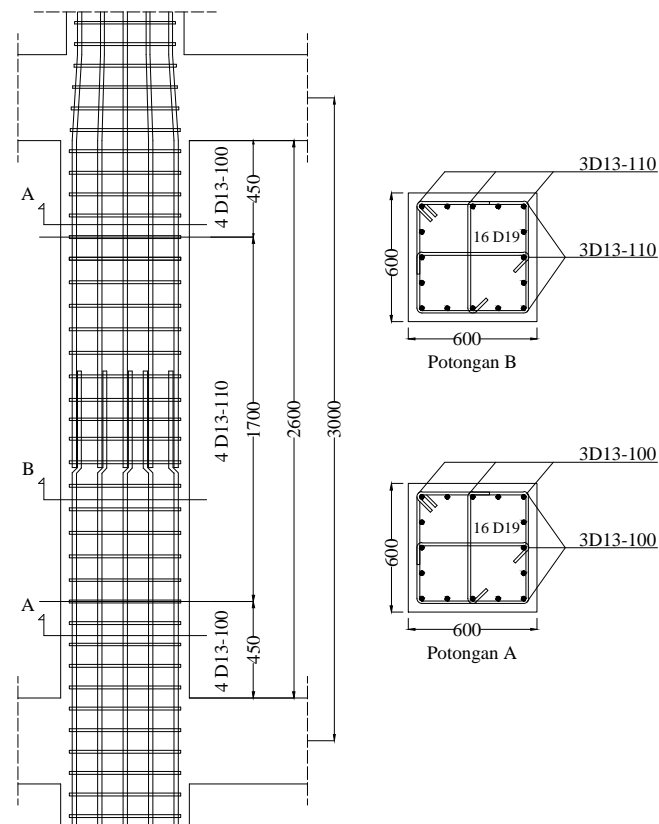
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



Detail Tulangan Kolom Tipe K3 As. 4,F Lt.12
Skala 1 : 35



Detail Tulangan Kolom Tipe K4 As. 4,F Lt. 20
Skala 1 : 35



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Kolom Tipe
K3 & K4

1 : 35

23

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

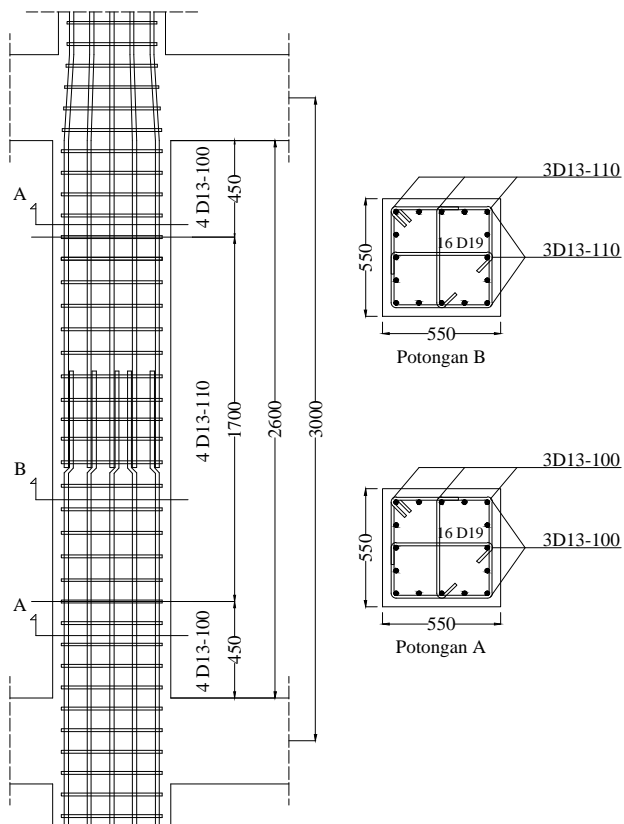
JMLH LEMBAR

DOSEN II

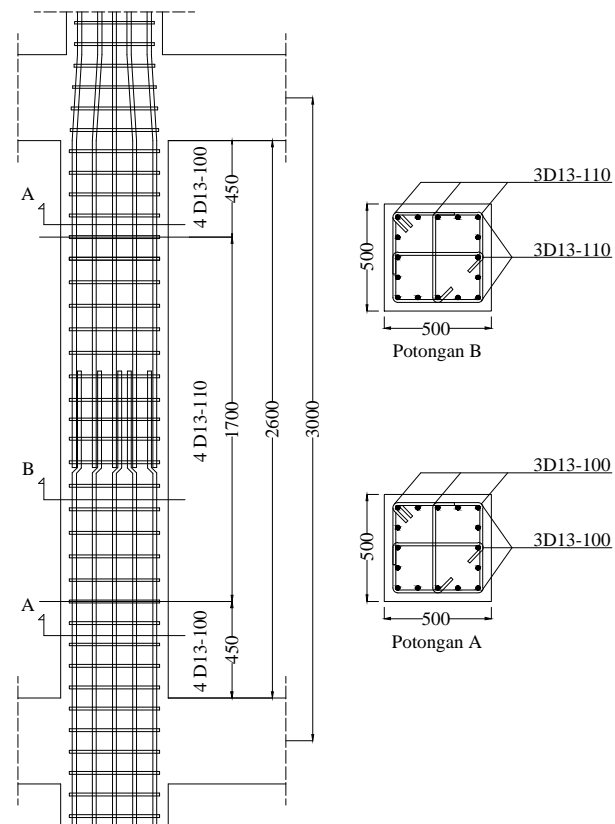
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



Detail Tulangan Kolom Tipe K5 As. 4,F Lt.25
Skala 1 : 35



Detail Tulangan Kolom Tipe K6 As. 4,F Lt.30
Skala 1 : 35



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Kolom Tipe
K3 & K4

1 : 35

24

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

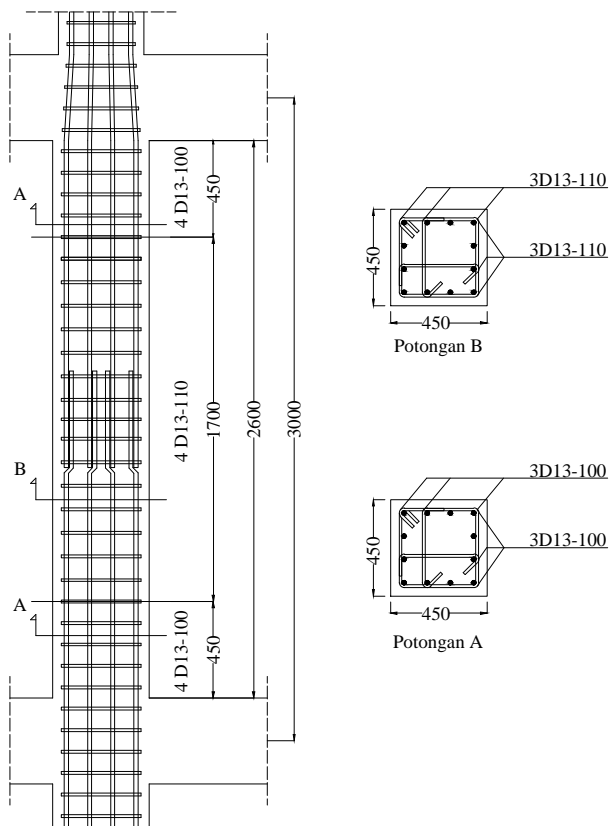
JMLH LEMBAR

DOSEN II

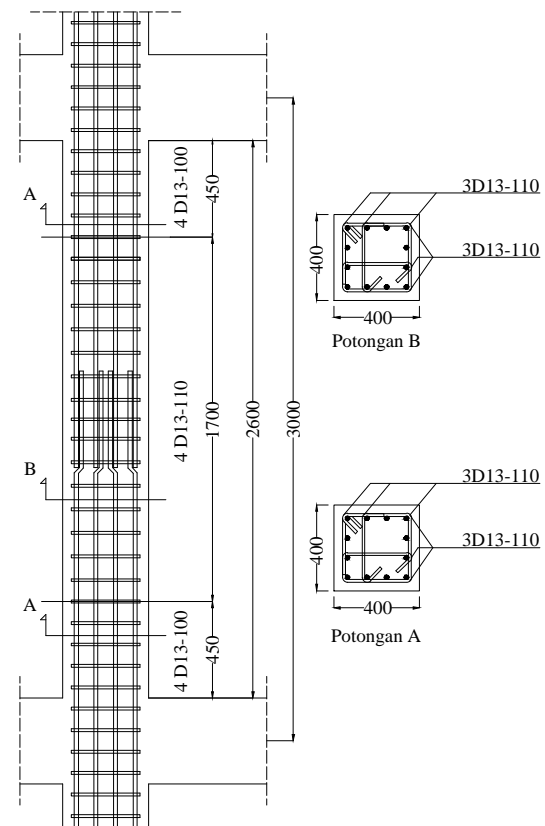
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



Detail Tulangan Kolom Tipe K7 As. 4,F Lt.35
Skala 1 : 35



Detail Tulangan Kolom Tipe K8 As. 4,F Lt.38
Skala 1 : 35



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan Kolom Tipe
K7 & K8

1 : 35

25

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

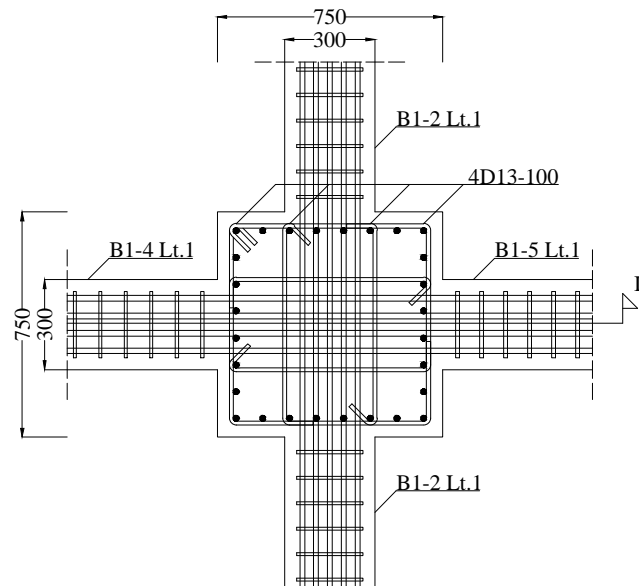
JMLH LEMBAR

DOSEN II

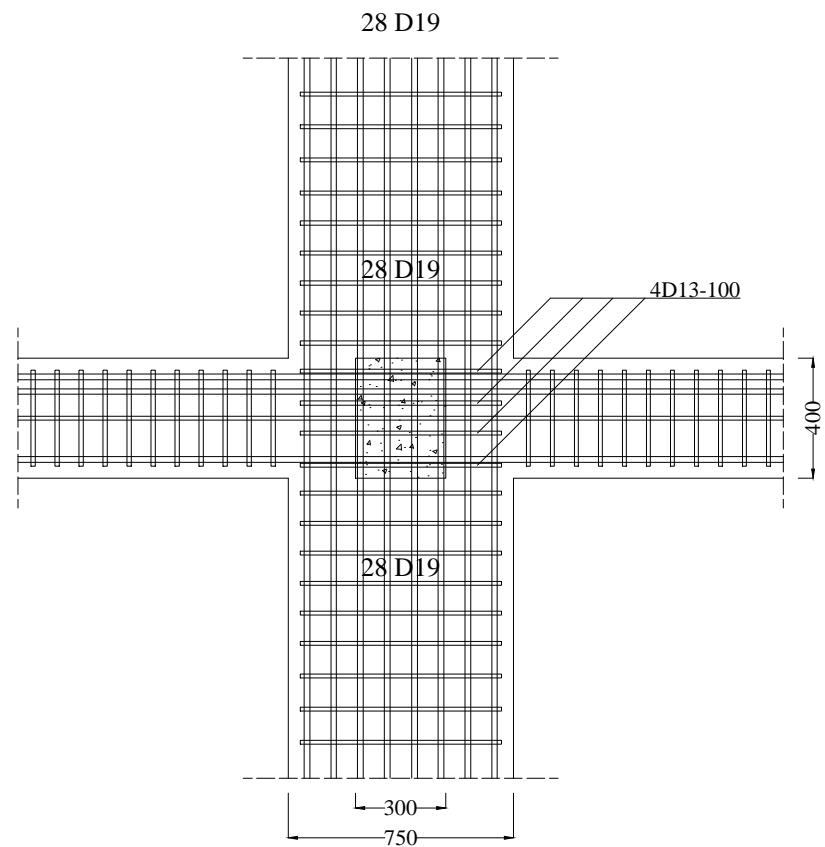
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



Detail Tulangan HBK As. 4,F Lt.2
Skala 1 : 25



Detail Potongan I
Skala 1 : 25



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan
HBK & Potongan 1

1 : 25

26

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

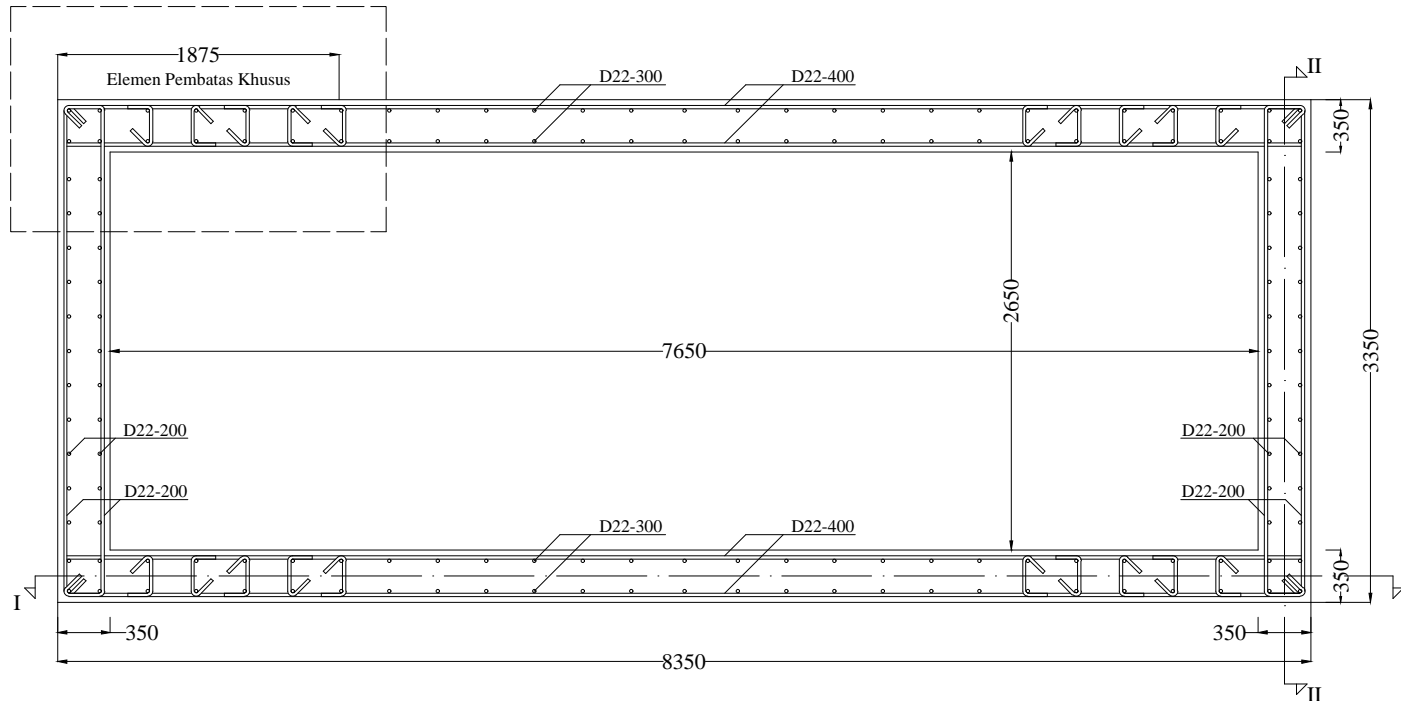
JMLH LEMBAR


DOSEN II

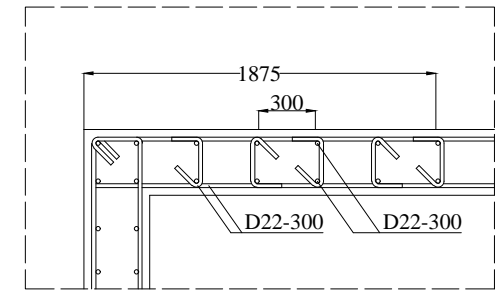
ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



 Detail Tulangan *Shearwall*
Skala 1 : 50



 Detail Elemen Pembatas Khusus
Skala 1 : 25



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

Detail Tulangan *Shearwall*
&
Detail Elemen Pembatas Khusus

SKALA

1 : 50
&
1 : 25

NO. LEMBAR

27

JMLH LEMBAR

30

DOSEN I

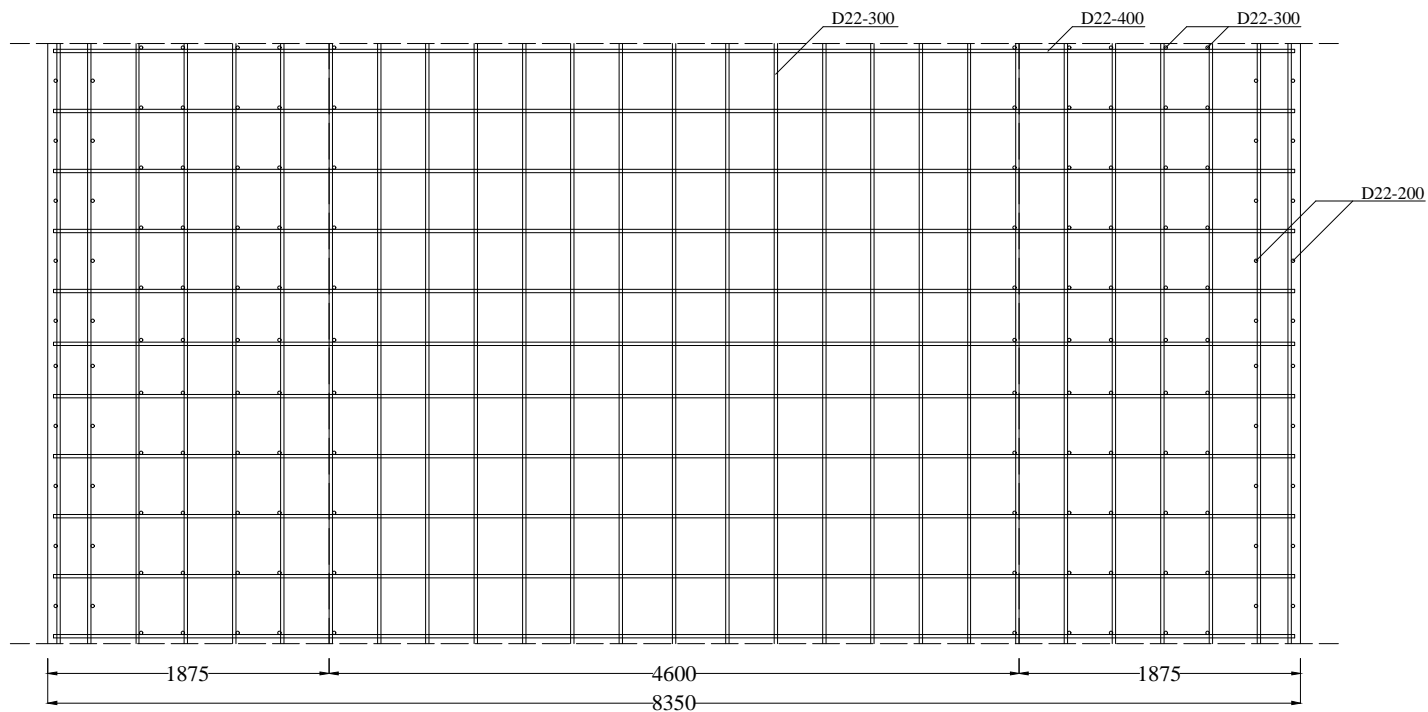
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.


DOSEN II

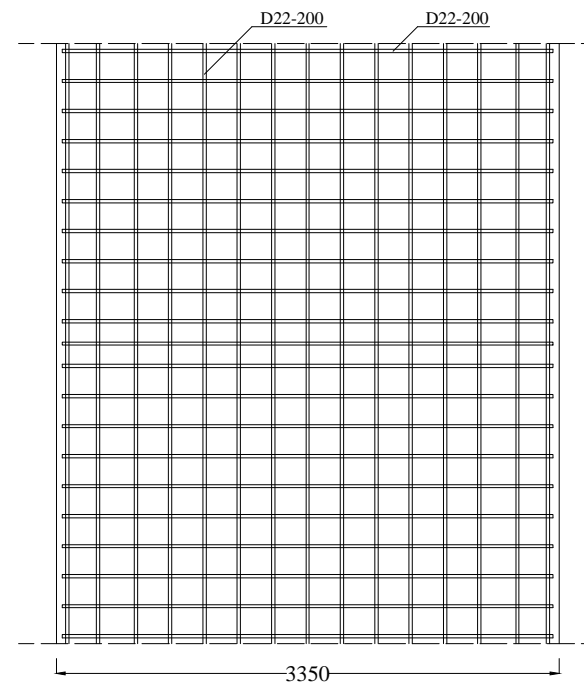
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA


NAMA / NRP MAHASISWA

ANGGA BAYU C
3115 105 052



 **Potongan Shearwall I-I**
Skala 1 : 50



 **Potongan Shearwall II-II**
Skala 1 : 50



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Potongan *Shearwall*
I-I & II-II

1 : 50

28

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

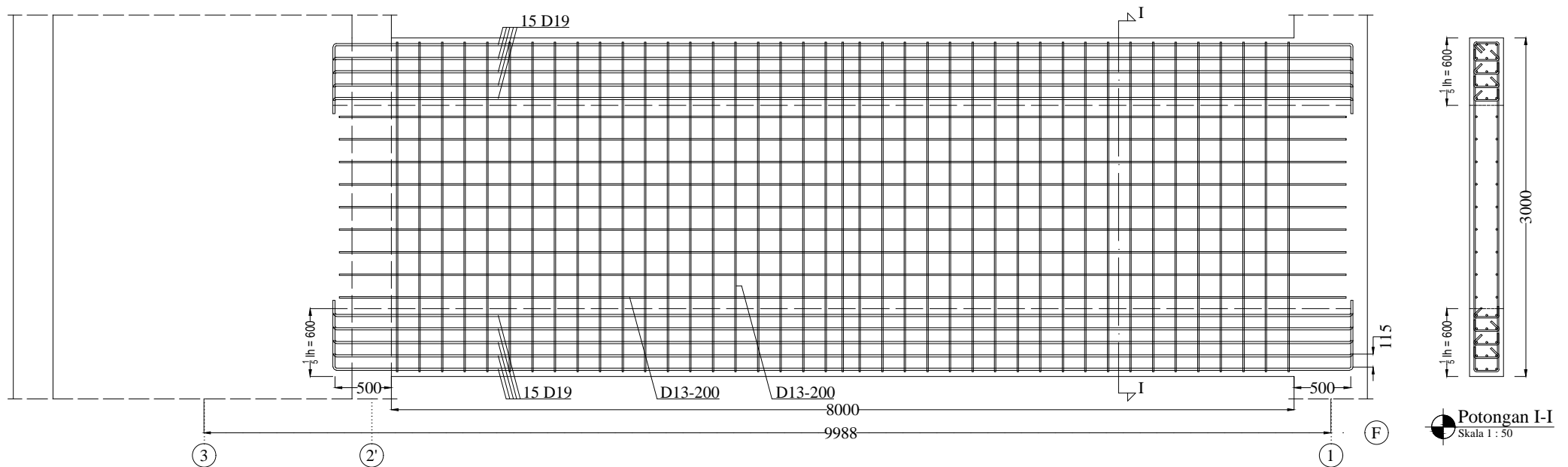
JMLH LEMBAR

DOSEN II

ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail Tulangan *Outrigger*

1 : 50

29

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

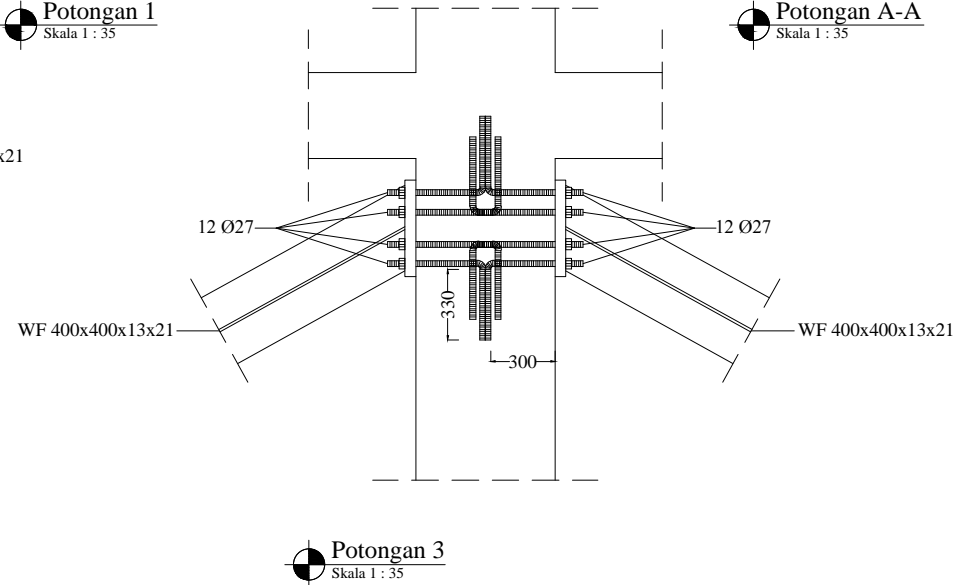
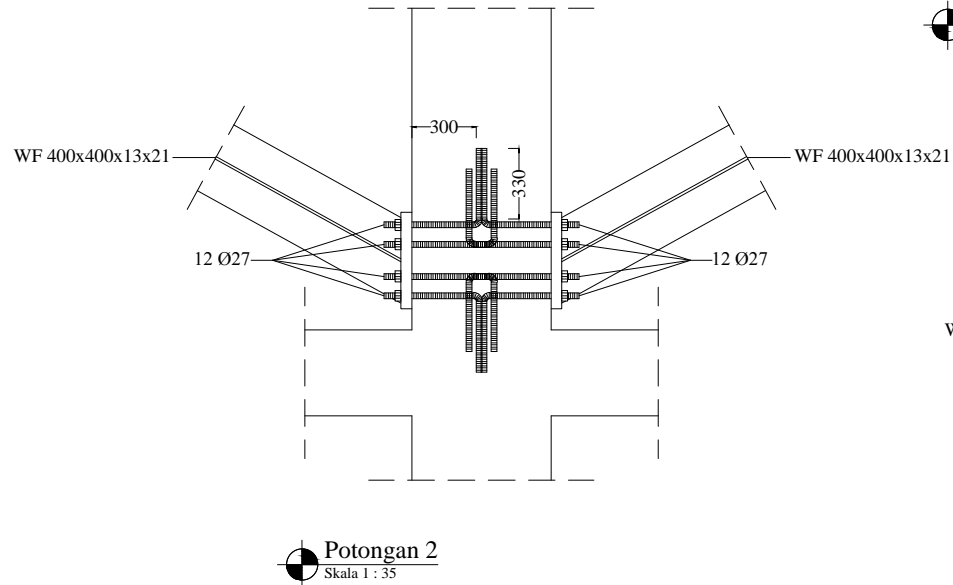
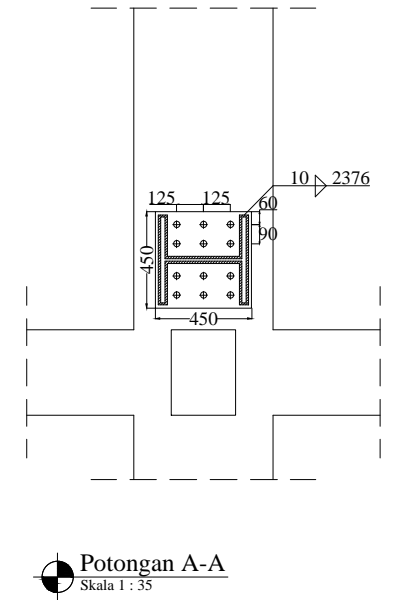
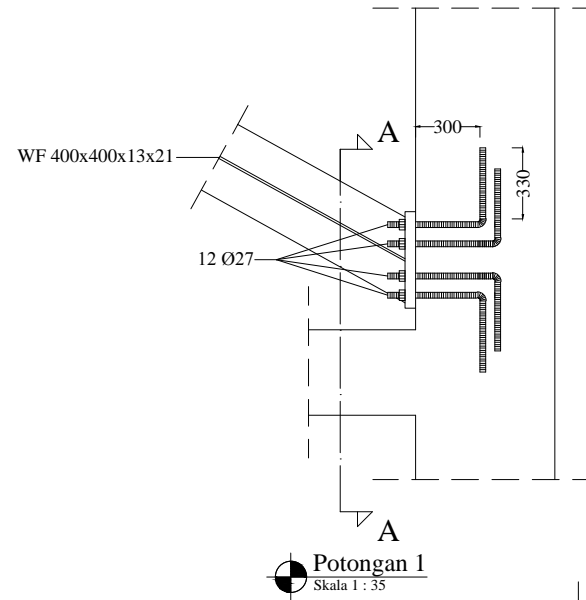
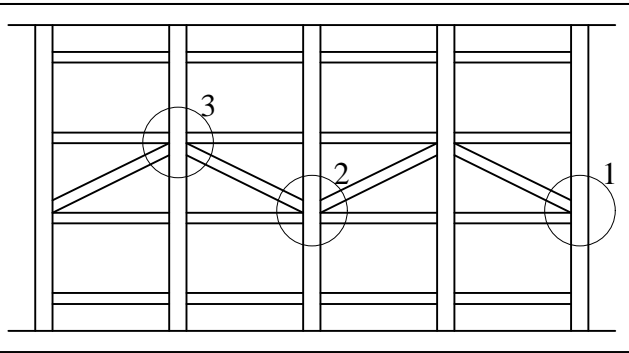
JMLH LEMBAR

DOSEN II

ANGGA BAYU C
3115 105 052

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN I

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

Detail *Belt Truss*

1 : 35

30

Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

ANGGA BAYU C
3115 105 052

JMLH LEMBAR

DOSEN II

30

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

BIODATA PENULIS

Angga Bayu Christianto



Penulis dilahirkan di Surabaya 12 Juli 1994. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kurniawati Surabaya, SD Negeri 57 Surabaya, SMP Negeri 38 Surabaya, SMA Negeri 7 Surabaya. Penulis mengikuti Tes Masuk Program Diploma III Teknik yang diselenggarakan oleh ITS Surabaya dan diterima di jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112030012. di Jurusan Diploma III Teknik Sipil penulis mengambil bidang studi Bangunan Gedung. Pada Tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan Sarjana pada program Lintas Jalur jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3115105052. Di jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya, penulis adalah mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang studi Struktur.